

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Tesis**

**Evaluación de la calidad del concreto con aditivo impermeabilizante  
expuesto a sulfatos en zonas altoandinas de la región del Cusco - 2024**

Asesor:

Mg. Ing. Mendoza Nina, Renato Héctor

Autor:

Salas Phan, Icchian Alexander Duong

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Cusco – Cusco – Perú

2025



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

Acta N°: 003

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 27 días del mes de Febrero del 2025, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 092-2025-UTEA-FC-FI-EPIC de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Cárdenas Galiano Jorge Armando
Dictaminante:	Mg. Chavarry Morveli Daniel
Replicante :	Mg. Cortez Vargas Juan Pedro Luciano

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación de la calidad del concreto con aditivo impermeabilizante expuesto a sulfatos en zonas altoandinas de la región del Cusco - 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Salas Phan Icchian Alexander Duong  
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

(Denominación del Título)

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

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Salas Phan Icchian Alexander Duong	Aprobado

Siendo las 12:45 p.m horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Cárdenas Galiano Jorge Armando  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Dictaminante: Mg. Chavarry Morveli Daniel  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

Replicante: Mg. Cortez Vargas Juan Pedro Luciano  
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)

(Firma)  
(Firma)  
(Firma)

(\*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Evaluación de la calidad del concreto con aditivo impermeabilizante expuesto a Sulfatos en Zonas Altoandinas de la Región del Cusco - 2024.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>22%</b> INDICE DE SIMILITUD	<b>21%</b> FUENTES DE INTERNET	<b>3%</b> PUBLICACIONES	<b>10%</b> TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>10%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>archive.org</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>Submitted to uncedu</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>10</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>11</b>	<b>idoc.pub</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>12</b>	<b>repositorio.unc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>13</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>14</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>		
Apellidos y nombres	:	Salas Phan, Icchian Alexander Duong
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	71135038
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0009-0009-2627-2999">https://orcid.org/0009-0009-2627-2999</a>
<b>Datos del Asesor</b>		
Apellidos y nombres	:	Mg. Ing. Mendoza Nina, Renato Hector
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	44159849
URL ORCID	:	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2454-354X">https://orcid.org/0000-0002-2454-354X</a>
<b>Datos de la investigación</b>		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Agosto del 2024 a enero del 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	22%
URL de OCDE	:	<a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01</a>

## **Dedicatoria**

A mis padres Roberto y Dao, con mucho cariño.

## **Agradecimiento**

A mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en todo este proceso. Su constancia, paciencia y aliento me han brindado la fortaleza necesaria para superar cada desafío y seguir avanzando en esta etapa.

A mi abuela, por abrirme las puertas de su hogar y brindarme siempre su cariño y cuidado. Su presencia constante me ha proporcionado un refugio de tranquilidad y estabilidad a lo largo de este camino.

A mi pareja y amigos, por su valioso respaldo y compañía durante la realización de esta tesis, aportando motivación y apoyo en los momentos clave.

A mis docentes, por su dedicación y disposición para compartir su conocimiento, guiándome con profesionalismo y compromiso en mi formación académica.

## Resumen

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad del concreto de  $f_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> elaborado con cemento tipo HS, y diseñado según las condiciones ambientales de las zonas altoandinas de la región del Cusco, al incorporar aditivo impermeabilizante, determinando su efectividad en la reducción del ataque de sulfatos.

El tipo de investigación es cuantitativa, con un diseño experimental y un nivel descriptivo. La metodología consistió en la elaboración de diversas muestras de concreto divididas en dos grandes grupos, uno expuesto a una solución de sulfato de amonio a 10,000 ppm y el otro no. Cada grupo incluyó cuatro diferentes dosificaciones de aditivo impermeabilizante: 0, 400, 800 y 1200 ml. Las muestras fueron sumergidas durante 7, 14, 28 y 60 días y posteriormente sometidas a pruebas de resistencia a la compresión para evaluar su desempeño.

Los resultados mostraron que, a los 28 días, la dosificación con 400 ml de aditivo logró la mayor resistencia, mientras que, a los 60 días, la dosificación de 1200 ml mostró el mejor desempeño. Con exposición a sulfatos, el concreto sin aditivo redujo significativamente su resistencia entre los 28 y 60 días mientras que, con 1200 ml de aditivo, la resistencia aumentó en el mismo periodo. En general, el ataque de sulfatos afecta negativamente la resistencia del concreto con el tiempo, pero el uso de aditivos impermeabilizantes, especialmente a una dosificación de 1200 ml, mejora significativamente su durabilidad y resistencia en condiciones agresivas.

**Palabras clave:** Calidad del concreto, Aditivos impermeabilizantes, Ataque por sulfatos, Resistencia a la compresión, Zonas altoandinas.

## Abstract

This research focuses on evaluating the quality of concrete with  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , made with HS-type cement and designed according to the environmental conditions of the high Andean regions of Cusco, by incorporating a waterproofing additive to determine its effectiveness in reducing sulfate attack.

The study follows a quantitative approach, with an experimental design and a descriptive level. The methodology involved the preparation of several concrete samples divided into two main groups: one exposed to a 10,000-ppm ammonium sulfate solution and another unexposed. Each group included four different dosages of waterproofing additive: 0, 400, 800, and 1200 ml. The samples were submerged for 7, 14, 28, and 60 days and subsequently subjected to compressive strength tests to assess their performance.

Results showed that at 28 days, the 400 ml dosage achieved the highest strength, while at 60 days, the 1200 ml dosage performed best. In sulfate exposure conditions, concrete without additive experienced a significant reduction in strength between 28 and 60 days. Conversely, concrete with 1200 ml of additive showed increased strength over the same period. Overall, sulfate attack negatively impacts concrete strength over time, but the use of waterproofing additives particularly at a dosage of 1200 ml, significantly enhances durability and resistance in aggressive environments.

**Keywords:** Concrete quality, Waterproofing additives, Compressive strength, Sulfate attack, High-Andean regions.

## Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud .....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	xi
Índice de figuras .....	xiv
<b>I. Introducción .....</b>	<b>17</b>
<b>II. Planteamiento del problema.....</b>	<b>19</b>
2.1. Descripción y formulación del problema.....	19
2.2. Objetivos.....	22
2.2.1. Objetivo general.....	22
2.2.2. Objetivos específicos.....	22
2.3. Justificación e importancia .....	22
2.4. Hipótesis .....	25
2.5. Variables .....	26
<b>III. Marco Teórico.....</b>	<b>27</b>
3.1. Antecedentes .....	27

3.2.	Bases teóricas .....	36
3.3.	Definición de términos.....	51
<b>IV.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Tipo y Nivel de investigación.....	53
4.2.	Ámbito temporal y espacial .....	54
4.3.	Población y muestra.....	54
4.4.	Instrumentos .....	56
4.5.	Procedimientos .....	57
4.6.	Análisis de datos.....	101
4.7.	Consideraciones éticas .....	123
<b>V.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>124</b>
<b>VI.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>139</b>
<b>VII.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>142</b>
<b>VIII.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>144</b>
<b>IX.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>150</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clasificación de la severidad de ambiente de sulfatos.....	47
<b>Tabla 2</b> Contenido de aire incorporado para concreto expuesto a congelamiento.....	50
<b>Tabla 3</b> Cantidad de muestras utilizadas en la investigación.....	55
<b>Tabla 4</b> Masa mínima para el muestreo en campo.....	58
<b>Tabla 5</b> Requisitos del agregado fino para concreto.....	59
<b>Tabla 6</b> Material que pasa el tamiz N°200 del agregado fino por el método de lavado....	59
<b>Tabla 7</b> Requisitos del agregado grueso para concreto.....	60
<b>Tabla 8</b> Material que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso por el método de lavado .....	60
<b>Tabla 9</b> Granulometría del agregado fino.....	62
<b>Tabla 10</b> Granulometría del agregado grueso.....	65
<b>Tabla 11</b> Contenido de humedad del agregado fino.....	67
<b>Tabla 12</b> Contenido de humedad del agregado grueso.....	68
<b>Tabla 13</b> Peso específico y Absorción del agregado fino.....	70
<b>Tabla 14</b> Peso específico y Absorción del agregado grueso.....	74
<b>Tabla 15</b> Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos del agregado fino.....	75
<b>Tabla 16</b> Peso unitario compacto y porcentaje de vacíos del agregado fino.....	76
<b>Tabla 17</b> Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos del agregado grueso.....	77
<b>Tabla 18</b> Peso unitario compacto y porcentaje de vacíos del agregado grueso.....	77
<b>Tabla 19</b> Especificaciones del Concreto de diseño.....	78
<b>Tabla 20</b> Características del cemento.....	78
<b>Tabla 21</b> Propiedades de los Materiales usados.....	78
<b>Tabla 22</b> Asentamiento según tipo de estructura.....	79
<b>Tabla 23</b> Consistencia y asentamiento.....	79
<b>Tabla 24</b> Resistencia a la compresión promedio.....	80
<b>Tabla 25</b> Contenido de aire para concreto resistente al congelamiento.....	81

<b>Tabla 26</b>	Selección de volumen de agua por metro cúbico.....	81
<b>Tabla 27</b>	Relación agua/cemento en relación con la resistencia a la compresión.....	82
<b>Tabla 28</b>	Relación agua/cemento para concreto sometido a exposición severa .....	83
<b>Tabla 29</b>	Volumen de agregado grueso en relación con el TMN y módulo de finesa .....	84
<b>Tabla 30</b>	Volúmenes Absolutos .....	85
<b>Tabla 31</b>	Tabla resumen del diseño de mezclas por el método ACI 211.....	86
<b>Tabla 32</b>	Características del aditivo incorporador de aire .....	86
<b>Tabla 33</b>	Características del aditivo impermeabilizante .....	87
<b>Tabla 34</b>	Cantidad de agregados expresados en porcentajes .....	87
<b>Tabla 35</b>	Dosificación del concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .....	88
<b>Tabla 36</b>	Dosificación del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 400 ml de aditivo impermeabilizante .....	89
<b>Tabla 37</b>	Dosificación concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 800 ml de aditivo impermeabilizante .....	89
<b>Tabla 38</b>	Dosificación concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con 1200 ml de aditivo impermeabilizante .....	90
<b>Tabla 39</b>	Características del cemento .....	90
<b>Tabla 40</b>	Dosificación concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado con cemento tipo IP .....	91
<b>Tabla 41</b>	Representación de los grupos que conforman la muestra en estudio .....	92
<b>Tabla 42</b>	Características del Sulfato de amonio.....	96
<b>Tabla 43</b>	Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso.....	102
<b>Tabla 44</b>	Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso.....	103
<b>Tabla 45</b>	Resumen de los resultados del Agregado Grueso.....	103
<b>Tabla 46</b>	Resultados de peso específico y absorción del agregado fino.....	104
<b>Tabla 47</b>	Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino.....	105
<b>Tabla 48</b>	Resumen de resultados del agregado fino.....	106
<b>Tabla 49</b>	Medición del Slump de los grupos de estudio .....	106
<b>Tabla 50</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón .....	109

<b>Tabla 51</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 2 .....	110
<b>Tabla 52</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 3 .....	111
<b>Tabla 53</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 4 .....	112
<b>Tabla 54</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 5 .....	113
<b>Tabla 55</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 6 .....	114
<b>Tabla 56</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 7 .....	115
<b>Tabla 57</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 8 .....	116
<b>Tabla 58</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 9 .....	117
<b>Tabla 59</b>	Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 10 .....	117
<b>Tabla 60</b>	Resistencia a la Compresión promedio – muestras sin exposición a sulfato..	124
<b>Tabla 61</b>	Resistencia a la Compresión promedio – muestras expuestas a solución de sulfato de amonio a 10,000 ppm .....	127
<b>Tabla 62</b>	Evolución de la resistencia del concreto en condiciones de sulfatos expresado en porcentajes .....	129
<b>Tabla 63</b>	Resistencia a la Compresión promedio – concreto elaborado con cemento tipo IP .....	134

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Ratio de ventas de cementos YURA por tipo en la región del Cusco, año 2024.....	39
<b>Figura 2</b> Extracción de muestras de cantera .....	58
<b>Figura 3</b> Retenido de los tamices .....	62
<b>Figura 4</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	63
<b>Figura 5</b> Retenidos de Granulometría agregado grueso.....	64
<b>Figura 6</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	65
<b>Figura 7</b> Contenido de humedad del agregado .....	67
<b>Figura 8</b> Evaluación del peso específico .....	70
<b>Figura 9</b> Evaluación del peso específico .....	71
<b>Figura 10</b> Pesaje del material sumergido en agua, muestra saturada .....	73
<b>Figura 11</b> Pesaje de la muestra saturada con superficie seca.....	73
<b>Figura 12</b> Ensayo de peso unitario y vacíos en el agregado fino.....	75
<b>Figura 13</b> Ensayo de peso unitario y vacíos en el agregado grueso.....	76
<b>Figura 14</b> Preparación de concreto en mezcladora .....	93
<b>Figura 15</b> Armado de briquetas.....	93
<b>Figura 16</b> Evaluación de la consistencia del concreto. ....	95
<b>Figura 17</b> Medición de la cantidad de sulfato de amonio.....	97
<b>Figura 18</b> Proceso de desencofrado de las briquetas.....	97
<b>Figura 19</b> Identificación de las muestras en estudio .....	98
<b>Figura 20</b> Ensayo de Resistencia a la compresión .....	99
<b>Figura 21</b> Medición y recopilación de datos de probetas .....	100
<b>Figura 22</b> Evaluación visual de los efectos sobre el concreto antes de la rotura .....	100
<b>Figura 23</b> Evaluación visual de los efectos sobre el concreto después de la rotura .....	101
<b>Figura 24</b> Slump en función de la cantidad de Aditivo impermeabilizante en la mezcla de concreto.....	107

<b>figura 25</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto patrón $f'c$ 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	109
<b>figura 26</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 2 .....	110
<b>figura 27</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 3 .....	111
<b>figura 28</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 4 .....	112
<b>figura 29</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 5 .....	113
<b>figura 30</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 6 .....	114
<b>figura 31</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 7 .....	115
<b>figura 32</b>	Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 8 .....	116
<b>figura 33</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión -Grupo 1.....	118
<b>figura 34</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 2.....	119
<b>figura 35</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 3.....	119
<b>figura 36</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 4.....	119
<b>figura 37</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 5.....	120
<b>figura 38</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 6.....	120
<b>figura 39</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 7.....	121
<b>figura 40</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 8.....	121
<b>figura 41</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 9.....	122
<b>figura 42</b>	Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 10.....	122
<b>Figura 43</b>	Resistencia a la Compresión promedio – muestras sin exposición a sulfato.	125
<b>Figura 44</b>	Resistencia a la Compresión promedio – muestras expuestas a sulfato de amonio.....	127
<b>Figura 45</b>	Slump en función de la cantidad de Aditivo impermeabilizante en la mezcla de concreto.....	130
<b>Figura 46</b>	Comparación en el desempeño del concreto Patrón frente al ataque de Sulfatos. ....	131
<b>Figura 47</b>	Comparación en el desempeño del concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.....	132

<b>Figura 48</b> Comparación en el desempeño del concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.....	133
<b>Figura 49</b> Comparación en el desempeño del concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.....	133
<b>Figura 50</b> Comparación en el desempeño del elaborado con cemento tipo IP y cemento tipo HS en condiciones normales.....	135
<b>Figura 51</b> Comparación en el desempeño del elaborado con cemento tipo IP y cemento tipo HS frente al ataque de Sulfatos.....	136

## I. Introducción

En la región del Cusco, especialmente en las zonas con altitudes superiores a 2300 m.s.n.m denominadas altoandinas (Pulgar , 1996), la exposición del concreto a suelos y aguas con alto contenido de sulfatos representa un desafío para la durabilidad de las estructuras. El ataque de sulfatos es uno de los principales factores que afectan la integridad del concreto, generando expansión, agrietamiento y pérdida de resistencia (Coronel y Balseca, 2009).

Para mitigar el daño causado por los sulfatos, además del uso de cementos especiales como lo es el cemento tipo HS, se han desarrollado diversas soluciones, entre ellas los impermeabilizantes, que según investigaciones como la de Santos (2023), mejoran la resistencia del concreto frente a estas agresiones químicas al reducir su permeabilidad, de esta manera reducir la porosidad del concreto y limitar la penetración de sulfatos, prolongando así su vida útil. Sin embargo, no hay suficientes estudios en el país ni investigaciones locales que indiquen la efectividad de estos aditivos impermeabilizantes frente al ataque de los sulfatos bajo las condiciones específicas de las zonas altoandinas de Cusco y cuál es su influencia en las demás propiedades del concreto.

La presente investigación busca abordar estas lagunas de conocimiento evaluando la calidad del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con cemento tipo HS e incorporando aditivos impermeabilizantes, exponiendo las muestras a sulfatos desde el proceso de curado, mediante la inmersión de estas en soluciones de sulfato de amonio que simulan

condiciones naturales. Se emplearon tres dosificaciones del aditivo Sika® Cem Impermeable (400 ml, 800 ml y 1200 ml por bolsa de cemento) y se expusieron el 50% de las muestras a esta solución por un máximo de 60 días, analizando su resistencia y durabilidad. Los resultados permitirán mejorar las prácticas constructivas en zonas altoandinas, optimizando la protección y conservación de infraestructuras en la región del Cusco.

## II. Planteamiento del problema

### 2.1. Descripción y formulación del problema

La construcción de infraestructuras resistentes y duraderas es fundamental para el desarrollo regional y nacional. En este contexto, la región del Cusco, además de ser un importante destino turístico como centro económico y cultural para el sur del Perú, cuenta con una creciente infraestructura de concreto, incluyendo carreteras, puentes, presas, aeropuertos y edificaciones, las cuales están expuestas a las condiciones ambientales características de la región. (GORE Cusco, 2023).

La región del Cusco tiene una geografía muy variable, según INEI (1999), esta región cuenta con altitudes promedio que van desde los 650 m.s.n.m en el distrito de Quellouno hasta los 4801 m.s.n.m. en el distrito Suykutambo, de las cuales según Pulgar (1996), a partir de los 2,300 m.s.n.m. se les considera zonas altoandinas. Las condiciones ambientales en las zonas altoandinas de la región del Cusco presentan desafíos únicos para la ingeniería civil, estas áreas, caracterizadas por su altitud elevada, bajas temperaturas y clima variado, también pueden estar expuestas a la presencia de suelos y aguas con alta concentración de sulfatos.

ACI (2016), nos indica que los sulfatos pueden encontrarse en la naturaleza en forma de calcio, amonio, magnesio, sodio o potasio en los suelos o disueltos en agua, de los cuales los más dañinos para el concreto son el sulfato de magnesio y el sulfato de amonio. La presencia de sulfatos puede inducir procesos de deterioro químico en el concreto, comprometiendo su integridad estructural y reduciendo significativamente su vida útil. Los

efectos negativos de los sulfatos incluyen la expansión del concreto, la aparición de fisuras y, en casos severos, la desintegración total del material, lo que puede llevar a fallos estructurales (Coronel y Balseca, 2009).

Existen varios lugares ubicados en zonas altoandinas de la región del Cusco donde los sulfatos están presentes de manera natural, por ejemplo, zonas ubicadas en la formación Maras (ki-ma) con altitudes variadas entre 3600 y 3750 m.s.n.m., compuesta por una mezcla caótica que incluyen minerales sulfatos, como sulfato de calcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) o anhidrita ( $\text{CaSO}_4$ ) (INGEMET, 2003). Otras zonas son aquellas llamadas suelos salinos, las cuales cuentan con altas concentraciones de sales solubles y de iones de sulfato (Delgado et al., 2022). Aquí podemos mencionar, la zona de Cachipampa del distrito de San Pablo de la Provincia de Canchis con una altitud de 3550 m.s.n.m, donde se evidencia la presencia de estos suelos salinos (Aimituma et al., 2023). Además, muchos proyectos de construcción al realizar el estudio de mecánica de Suelos pueden evidenciar presencia de sulfatos, como por ejemplo la construcción de Diques de concreto en comunidades del distrito de Yanaoca de la Provincia de Canas, ubicada a 4340 m.s.n.m donde el Estudio de Mecánica Suelos indica presencia Moderada de Sulfatos (GORE Cusco, 2023)

Si bien en el mercado de la región del Cusco se comercializan cementos tipo HS, como el cemento YURA MAX, cuyo uso ha experimentado un crecimiento significativo en el año 2024, estos cumplen con la norma NTP 334.082 y están diseñados para resistir ambientes con alta concentración de sulfatos, siendo recomendados para estructuras expuestas a estas condiciones (YURA S.A., 2024). Sin embargo, investigaciones como la de Olertergui y Guiller (2021) indican que, a pesar del uso de cementos especiales como el tipo V o el tipo HS, el concreto sigue presentando degradación cuando está expuesto a altas concentraciones de sulfatos. Esto evidencia que la resistencia del cemento por sí sola puede no ser suficiente para garantizar una protección óptima.

En este contexto, se evidencia la problemática en las zonas altoandinas de Cusco, donde el concreto, a pesar del uso de cementos especiales, sufre deterioro por ataque de

sulfatos. Sin embargo, como se verifica en los antecedentes, no se encuentran estudios locales que estudien esta problemática ni que evalúen soluciones complementarias, como el uso de aditivos impermeabilizantes para reducir la permeabilidad del concreto y mejorar su resistencia a este tipo de deterioro químico.

### **2.1.1. Problema general**

¿Como influye en la calidad del concreto de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS, la incorporación de aditivo impermeabilizante, en términos de reducción del ataque de sulfatos en zonas altoandinas de la región del Cusco?

### **2.1.2. Problemas Específicos**

- ¿Cómo se desarrolla la resistencia a la compresión del concreto de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS a los 7, 14, 28 y 60 días, al incorporar 400, 800 y 1200 ml de aditivo impermeabilizante?
- ¿Cuál es el efecto de la exposición a una solución de sulfato de amonio de 10,000 ppm en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7, 14, 28 y 60 días?
- ¿Qué diferencias existen en el revenimiento entre el concreto patrón y el concreto con aditivo impermeabilizante?
- ¿Cuál de las dosificaciones de aditivo impermeabilizante proporciona el mejor desempeño mecánico en el concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS?
- ¿Cómo se compara el desempeño del concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS frente al concreto elaborado con cemento Portland tipo IP en términos de resistencia al ataque de sulfatos?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo general**

Evaluar la calidad del concreto de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS, con la incorporación de aditivo impermeabilizante, determinando su efectividad en la reducción del ataque de sulfatos en zonas altoandinas de la región del Cusco.

### **2.2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión a los 7,14,28 y 60 días del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS, agregando 400, 800 y 1200 ml de aditivo impermeabilizante.
- Evaluar el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  sumergiendo las muestras en una solución de sulfato de amonio de 10,000 ppm durante 7, 14, 28 y 60 días.
- Comparar el revenimiento del concreto patrón y el concreto con aditivo impermeabilizante.
- Determinar la dosificación que brinde el mejor comportamiento mecánico del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento HS, con las distintas dosis de aditivo impermeabilizante.
- Comparar el desempeño del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS, con un concreto elaborado con cemento tradicional Portland tipo IP ante el ataque de Sulfatos

## **2.3. Justificación e importancia**

### **2.3.1. Justificación Técnica**

La presente investigación se justifica técnicamente por la necesidad de desarrollar estructuras de concreto más durables en zonas altoandinas expuestas a ambientes agresivos con presencia de sulfatos, los cuales pueden generar fisuración, expansión y pérdida de resistencia en el material, reduciendo su vida útil (Coronel y Balseca, 2009). En este contexto, el uso de aditivos impermeabilizantes representa una alternativa para mitigar

estos efectos, mejorando la durabilidad del concreto al reducir su porosidad y limitar la penetración de agentes agresivos. Evaluar el comportamiento del concreto con diferentes dosis de aditivo impermeabilizante permitirá optimizar el diseño de mezclas y proporcionar criterios técnicos para la construcción de infraestructuras más resistentes y sostenibles en condiciones de alta agresividad química en zonas altoandinas.

### **2.3.2. Justificación Social**

En zonas altoandinas como Maras, Cachipampa, Yanaoca o Mollepata, donde la presencia de sulfatos es conocida, se observa una tendencia de crecimiento poblacional que incrementa la demanda de edificaciones e infraestructuras duraderas. De acuerdo con datos del GORE Cusco (2023), estas áreas no solo albergan comunidades en expansión, sino que también presentan un aumento en la inversión pública y privada en proyectos de construcción.

### **2.3.3. Justificación por viabilidad**

La presente investigación se centra en el concreto de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , valor comúnmente adoptado en las construcciones de la región, buscando establecer medidas adicionales de protección adaptadas a las construcciones típicas. Según Vargas (2019), más del 60% de los propietarios en la región del Cusco opta por la autoconstrucción sin cumplir con las normativas y estándares legales establecidos, a pesar de contar con los ingresos necesarios para construir viviendas más seguras. Esta situación implica que, en la mayoría de los casos, las viviendas autoconstruidas incluyan concretos de resistencia estándar y no incluyan estudios de mecánica de suelos ni se guían por la normativa vigente en la selección de materiales y diseño. Como resultado, muchas veces se desconoce los componentes químicos de los suelos en los que se construye y no se prioriza la generación de concretos más resistentes al ataque de sulfatos.

Para esta investigación se empleó cemento tipo HS (resistente a sulfatos), ya que constituye la primera barrera frente a la exposición a sulfatos. Este tipo de cemento ha demostrado un mejor desempeño en dichas condiciones, como lo indican las

especificaciones técnicas del producto de YURA S.A (2024) y estudios previos, como los de Lapa y Rueda (2021). No obstante, su uso por sí solo no garantiza una protección integral, así lo evidencian investigaciones como la de Olortegui y Guiller (2021). En cuanto a su disponibilidad, registros estadísticos de YURA S.A. (2024) indican que el cemento tipo HS ha tenido un crecimiento importante en ventas en la región del Cusco, pasando del 1.29% en el mes de enero, al 59.43% en diciembre del año 2024, esto debido a que a partir de julio del presente año la empresa cambió la producción del cemento denominado MULTIPROPÓSITO tipo IP al ahora denominado YURA MAX Tipo HS con el fin de adecuarse al Código Técnico de Construcción Sostenible, que fue publicado por Decreto Supremo N° 014 -2021 – VIVIENDA (YURA S.A., 2024).

La elección de aditivos industriales en esta investigación se justifica ya que Según Neville (2013), los aditivos son cada vez más comunes en la construcción y actualmente existen en el mercado productos que cumplen con la mayoría de las necesidades de los usuarios de concreto. En la región del Cusco, se encuentran disponibles en el mercado aditivos impermeabilizantes como el *Sika®Cem Impermeable*, pero no existen datos comparativos que ayuden a seleccionar una dosificación adecuada según las condiciones de trabajo y requerimientos específicos. Los resultados de este estudio brindarán a los constructores un mayor conocimiento para tomar decisiones informadas en cuanto a la utilización de este aditivo y la proporción correcta.

#### **2.3.4. Justificación por relevancia**

Si bien existen múltiples estudios internacionales sobre el deterioro del concreto por sulfatos, las condiciones ambientales específicas de las zonas altoandinas del Perú no han sido investigadas con suficiente detalle, como se evidencia en los antecedentes no se ha encontrado investigaciones locales que aborden esta problemática. Este vacío de conocimiento impide el desarrollo de soluciones adaptadas a las características locales. Esta investigación permitirá generar datos contextuales, entendiendo los mecanismos de

deterioro químico del concreto en ambientes con sulfatos, así como evaluando la eficacia de los aditivos impermeabilizantes en mejorar su resistencia y durabilidad.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Con la incorporación de aditivo impermeabilizante se disminuirá el ataque de sulfatos en el concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento HS, mejorando así su calidad en condiciones de exposición a Sulfatos en zonas altoandinas de la región del Cusco.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La incorporación de aditivo impermeabilizante en el concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS influirá en la resistencia a la compresión a los 7, 14, 28 y 60 días, en comparación con el concreto sin aditivo.
- Las muestras de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con aditivo impermeabilizante, sumergidas en una solución de sulfato de amonio de 10,000 ppm, mostrarán una menor degradación y mejor desempeño en resistencia a la compresión en comparación con las muestras sin aditivo, después de 7, 14, 28 y 60 días de exposición.
- La incorporación de aditivo impermeabilizante influye en el revenimiento del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .
- La calidad del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  expuesto a sulfatos en zonas altoandinas solo mejora al usar una determinada dosificación de aditivo impermeabilizante.
- El concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con cemento tipo HS y aditivo impermeabilizante tendrá un mejor desempeño frente al ataque de sulfatos en comparación con el concreto elaborado con cemento tradicional Portland tipo IP, en cuanto a resistencia a la compresión.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Variable Independiente**

**Aditivo Impermeabilizante:** Según Borja (2012), es la variable que causa o influye directamente en el comportamiento de la variable dependiente. Los aditivos impermeabilizantes disminuyen la absorción de agua a presión en el concreto, ya sea por capilaridad o difusión, contribuyendo a preservar su durabilidad (SIKA PERU S.A, 2013).

**Exposición a Sulfatos:** Esta es otra variable que influye directamente en el comportamiento de la variable dependiente. Los Sulfatos son compuestos Químicos a base de azufre y oxígeno, los cuales pueden estar presentes en los suelos y aguas causando un daño significativo al concreto provocando pérdida de resistencia y vida útil (Coronel y Balseca, 2009).

### **2.5.2. Variable Dependiente**

**Calidad del Concreto:** Según Borja (2012), esta variable es el efecto o resultado generado por la influencia de la variable independiente. La calidad del concreto se define por su aptitud para cumplir con las especificaciones y requisitos de diseño, garantizando el cumplimiento de las exigencias tanto implícitas como explícitas de una construcción (Vidaud, 2014).

### **2.5.3. Variable Interviniente**

**Zonas altoandinas de la región del cusco:** Según Borja (2012), las variables intervinientes son aquellas que, aunque no estén explícitamente incluidas en la hipótesis, están presentes en el objeto de estudio y cuya variación podría influir en los resultados. Este estudio se realiza para las zonas del Cusco ubicadas a más de 2300 m.s.n.m. (Pulgar , 1996).

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes

##### 3.1.1. A nivel internacional

**Santos (2023)** en su tesis “Rendimiento De Hormigones Con Aditivos Cristalizantes Expuestos A Sulfatos” para optar al título de “Maestría en Construcción Civil” en la Universidad Federal de Minas Gerais. El objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño del concreto con aditivo impermeabilizante cristalizante bajo exposición a sulfatos. La metodología empleada consistió en comparar un concreto estándar al que se le añadió el aditivo cristalizante con un concreto en el que se reemplazó el 50% del cemento por material puzolánico, tanto con cómo sin aditivo. Las muestras fueron sometidas

a un entorno ácido agresivo (2,5% de  $H_2SO_4$ ) mediante inmersión.

Los resultados mostraron que el uso de aditivos cristalizantes mejora el desempeño del hormigón en presencia de sulfatos, tanto en mezclas con cemento estándar como en las que contienen material puzolánico, siendo más eficaz con la adición de una capa de geopolímero. El autor concluye que la exposición a sulfatos provocó desgaste en la superficie del hormigón, que se desintegró. Los resultados comparativos antes y después de la exposición demostraron que los hormigones con cristalizador conservaron características que incrementan su durabilidad, mostrando una resistencia un 10% superior, una absorción entre un 2 y un 4% menor, y una reducción del 25% en las pérdidas de masa.

**Niño (2022)** en su investigación “Evaluación del efecto de la concentración de sulfatos en el agua de mezcla sobre las propiedades mecánicas del concreto” para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Ingeniería Ambiental en la “Escuela Colombiana de Ingeniería”. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de diferentes concentraciones de sulfatos en el agua de mezcla sobre las propiedades físicas y mecánicas del mortero. La metodología incluyó ensayos experimentales conforme a la NTC 3459, que permitieron evaluar el efecto de los sulfatos presentes en el agua de mezcla sobre varias propiedades del concreto. Se midió el tiempo de fraguado del cemento, la resistencia a la compresión de cubos de 5 cm de lado, y la expansión en barras de 2.5 cm x 2.5 cm x 28.5 cm, según los requisitos de la NTC 220. Se emplearon diferentes tipos de agua, como residual doméstica, gris y de lluvia, con concentraciones de sulfatos entre 5 y 240 mg/L.

Los resultados mostraron que los sulfatos reducen el tiempo de fraguado y mejoran la resistencia a la compresión en edades tempranas. Sin embargo, a los 92 días, los sulfatos influyen negativamente en la evolución de la resistencia del material, y generan expansiones entre 0.001% y 0.021%. A concentraciones elevadas, el deterioro del mortero se hizo evidente, con mayor porosidad, desprendimiento de la capa superficial y eflorescencia al alcanzar los 10,000 mg/L. La autora concluye que, debido a la variabilidad de los resultados obtenidos, no es posible recomendar una concentración específica de sulfatos adecuada para la producción de concreto.

**Chávez (2021)** en su tesis “Influencia de la Permeabilidad y Resistencia en la Reactividad Álcali Agregado Del Concreto” para obtener el grado de “Maestría en Ingeniería”. El objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento del concreto en distintas dosificaciones, evaluando su susceptibilidad frente a ataques químicos. La metodología incluyó un estudio petrográfico complementado con técnicas como la difracción de rayos X y la espectrometría de masas. Se determinó el grado de absorción siguiendo la norma ASTM C 642 y se utilizó una versión modificada de la prueba ASTM C

1260. La investigación examinó la permeabilidad del concreto y su vulnerabilidad ante ataques químicos al absorber una solución alcalina. Se evaluaron tres niveles de resistencia:  $f'c = 200$ ,  $f'c = 300$  y  $f'c = 400$ . La absorción de agua en el concreto endurecido se midió con la metodología ASTM C 642, mientras que la reactividad del concreto se evaluó utilizando barras de  $7.5 \times 7.5 \times 28.5$  cm en la prueba ASTM C 1260 modificada.

Los resultados indicaron que, a medida que aumenta la resistencia, la permeabilidad disminuye, lo que a su vez reduce la reacción química debido a la menor cantidad de agua absorbida. Se observó que el concreto con una resistencia de  $f'c = 200$  kg/cm<sup>2</sup> presentó una expansión superior al 0.1% a los 16 días, mientras que el concreto de  $f'c = 300$  kg/cm<sup>2</sup> mostró una expansión del 0.05% y el de  $f'c = 400$  kg/cm<sup>2</sup> alcanzó un 0.03%, esto indica que existe una relación entre el nivel de resistencia, la permeabilidad y la expansión del concreto. El autor concluye que, independientemente de la reactividad de los materiales, existe una relación directamente proporcional: "a mayor resistencia, se obtiene menor permeabilidad y una menor reacción química", lo cual se atribuye al porcentaje de agua absorbida por cada una de las barras.

**Jiménez y Lozano (2018)** en su tesis "Análisis De La Influencia De Sulfatos Y Cloruros En El Deterioro De Estructuras En Concreto En Zonas Costeras Del Atlántico Colombiano" para optar al título de "Ingeniero Civil" en la Universidad Católica de Colombia. Esta investigación tuvo como objetivo el determinar la influencia de los cloruros y sulfatos sobre las propiedades del concreto estructural y su deterioro en ciudades costeras de Colombia. La metodología implicó llevar a cabo una investigación teórico-experimental que incluyó una revisión de la literatura y pruebas de laboratorio para analizar el comportamiento del concreto estructural ante ataques de cloruros y sulfatos. El diseño de mezclas se realizó bajo la normativa colombiana para un concreto de 21.1 Mpa y se realizó una comparación de resultados de pruebas de resistencia y PH de las muestras, las cuales se fabricaron en distintas ciudades costeras a distintas temperaturas.

Los resultados mostraron que la combinación de cloruros y sulfatos afecta directamente las propiedades del concreto con el tiempo. Se concluyó que el concreto no experimenta una pérdida de resistencia significativa por ataques de cloruros, ya que las resistencias alcanzaron el 100% o más a los 28 días de exposición. Sin embargo, las muestras expuestas a sulfatos y a la combinación de cloruros y sulfatos mostraron una reducción en la resistencia a los 28 días, lo que sugiere que los sulfatos pueden deteriorar la pasta cementosa durante el curado, disminuyendo la resistencia en aproximadamente un 11% en comparación con las muestras no expuestas. Las muestras que fallaron a los 71 días bajo la exposición combinada de cloruros y sulfatos no alcanzaron el 100% de resistencia, indicando que la combinación de estos compuestos puede influir en la resistencia del concreto.

**Rodríguez (2016)** en su tesis “Estudio de Hormigones Impermeables, según el origen local de materiales y la adición de Aditivo Impermeabilizante” para obtener el título de “Ingeniero Civil”. El objetivo de esta investigación fue examinar la impermeabilidad del concreto de diferentes resistencias elaborado con aditivo impermeabilizante. La metodología incluyó una investigación de tipo Experimental a nivel descriptivo, se examinó la impermeabilidad de hormigones endurecidos tras 28 días de curado, agregando un 2% de aditivo impermeabilizante basado en el peso del cemento. Las muestras fueron sometidas a ensayos de permeabilidad utilizando la norma europea UNE-EN 12390-8, dado que no existe normativa local.

Los resultados indicaron que, con una dosificación de  $240\text{kg}/\text{cm}^2$  y el aditivo impermeabilizante, se obtuvo una baja penetración de agua y una clara repulsión. Además, la adición de este aditivo redujo significativamente la permeabilidad en hormigones de resistencia de  $210\text{kg}/\text{cm}^2$ . El autor concluye que el concreto con y sin aditivo impermeabilizante cumple con los requisitos de impermeabilidad establecidos en la norma UNE EN 12390-8, mostrando valores de penetración de agua por debajo de los límites permitidos. En mezclas sin aditivo impermeabilizante, los concretos con resistencias de  $f_c$

= 210 kg/cm<sup>2</sup> y  $f'_c = 240$  kg/cm<sup>2</sup> presentan alturas de penetración de 30 mm y 19 mm respectivamente, mientras que con la adición de un 2% de aditivo impermeabilizante, la penetración disminuye a 14 mm para ambas resistencias. Sin embargo, los recubrimientos mínimos establecidos por normas como el ACI 318 y ACI 350 para la protección de los refuerzos en estructuras de concreto resultan insuficientes en algunos casos, lo que podría comprometer la durabilidad y vida útil de elementos expuestos a condiciones agresivas, especialmente si no se utilizan aditivos impermeabilizantes. Esto resalta la importancia de revisar los recubrimientos y condiciones locales de construcción para garantizar la funcionalidad estructural a largo plazo.

### **3.1.2. A nivel nacional**

**Cadillo (2023)** en su tesis “Influencia de los Aditivos Impermeabilizantes en Líquido (Sika Wt – 100 Y Sika I) en la Resistencia a la Compresión Del Concreto De 210 Kg/Cm<sup>2</sup> Para Su Uso En Obras Hidráulicas” para optar al título de “Ingeniero Agrícola”. El objetivo de esta investigación fue examinar la influencia de los aditivos impermeabilizantes líquidos Sika WT-100 y Sika I en la resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizado en obras hidráulicas. El diseño experimental incluyó 12 pruebas con un concreto patrón sin aditivos y 36 con el aditivo Sika WT-100 en tres concentraciones (T1 = 1%, T2 = 2%, T3 = 3%), junto con 36 pruebas adicionales con el aditivo Sika I en tres concentraciones (T1 = 2%, T2 = 3%, T3 = 4%). Los especímenes fueron evaluados a los 7, 14, 21 y 28 días, con tres repeticiones cada uno.

Los resultados indican que, a los 28 días, se observó que el concreto con Sika WT-100 mejoró su resistencia en un 18.56%, 15.63% y 11.47%, mientras que el concreto con Sika I líquido mostró aumentos del 12.67%, 7.55% y 4.96%. El autor concluye que el uso de los aditivos impermeabilizantes líquidos Sika WT-100 y Sika I en el concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> influye positivamente en su resistencia a la compresión, además, en todas las edades de curado, las probetas con aditivos superaron los valores de resistencia del concreto patrón, destacando el Sika WT-100 como el más efectivo. Se validó la hipótesis de que los aditivos

impermeabilizantes líquidos influyen en la resistencia a compresión, lo que los hace aptos para su uso en obras hidráulicas.

**Cusihuaman (2022)** en su investigación “Efecto del Aditivo Impermeabilizante en las Propiedades Mecánicas del Concreto con Cemento Portland Del Tipo I Y Tipo Ico” para obtener el título de “Ingeniero Civil”. El objetivo de esta investigación fue analizar el efecto del aditivo Chema 1 Impermeabilizante sobre las propiedades mecánicas del concreto, utilizando cementos Sol Tipo I y Inka Tipo ICo. La metodología incluyó producir 480 cilindros con estos cementos, distribuidos entre muestras de control y muestras con el aditivo en concentraciones de 4.0%, 4.5% y 5.0% del peso del cemento. Los cilindros fueron evaluados a los 3, 7 y 28 días. Se realizaron 64 pruebas para medir el coeficiente de permeabilidad siguiendo la norma NTC 4483. Los análisis de los agregados incluyeron pruebas de humedad, absorción, PUS y PUC para definir el diseño de referencia.

Los resultados indicaron que con cemento Portland Tipo I y una relación agua/cemento de 0.40, la resistencia a la compresión disminuyó hasta un 7.12% y la permeabilidad un 61.29%. Con una relación de 0.50, la resistencia bajó un 11.45% y la permeabilidad un 58.81%. Para el cemento Portland Tipo Ico, con una relación agua/cemento de 0.40, la resistencia se redujo un 6.34% y la permeabilidad un 64.42%, mientras que para una relación de 0.50, la resistencia disminuyó un 8.28% y la permeabilidad un 62.20%. La investigación concluyó que el cemento Portland Tipo Ico mostró mejores resultados en términos de resistencia e impermeabilidad, y se recomendó el aditivo Chema 1 Impermeabilizante para mejorar la durabilidad del concreto.

**Castañeda (2021)** en su investigación “Efecto del aditivo SikaCem Impermeable y Sika WT-100 en la resistencia a la compresión y permeabilidad de concretos para cimentación”, para obtener el título profesional de “Ingeniero Civil”. La investigación tuvo como objetivo evaluar cómo los aditivos SikaCem impermeable y Sika WT-100 afectan la resistencia a la compresión y la permeabilidad de concretos destinados a cimentación. La metodología fue un estudio aplicado, con diseño experimental puro y muestreo no probabilístico basado en

la conveniencia y el juicio de expertos, utilizó cemento Pacasmayo MS para fabricar 52 cilindros de 4"x 8". Las pruebas se realizaron a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados indicaron que el concreto con el aditivo Sika WT-100 al 2% obtuvo los mejores resultados, con una resistencia de hasta 419 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días de curado y una permeabilidad de 14.06 mm, que se encuentra por debajo del límite máximo de 30 mm para baja permeabilidad. El autor concluyó que el aditivo WT-100 al 2% aumentó significativamente la resistencia a los 7, 14 y 28 días, además de mejorar la impermeabilidad, haciéndolo adecuado para cimentaciones en ambientes húmedos.

**Lapa y Rueda (2021)** en su tesis "Propiedades mecánicas del concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando cemento tipo HS expuesto a sales, cloruros y sulfatos, Punta Hermosa, Lima 2021" para obtener el título profesional de "Ingeniero Civil" en la Universidad César Vallejo. El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades del concreto de resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizando cemento tipo HS expuesto a sales, cloruros y sulfatos. La metodología de esta investigación fue aplicada y cuasi experimental, se enfocó en probetas de concreto con una resistencia de  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, usando cemento tipo HS y concreto convencional. Se llevaron a cabo pruebas de compresión, tracción y flexión a los 7, 14 y 28 días.

Los resultados indicaron que el concreto con cemento HS presentó una menor resistencia en comparación con el concreto convencional en todas las edades de prueba. Promediando los resultados a los 28 días, la resistencia del concreto convencional fue de 292 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el concreto con cemento tipo HS mostró una resistencia de 288 kg/cm<sup>2</sup>. El autor concluye que al utilizar cemento tipo HS en un concreto de  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> expuesto a sales, cloruros y sulfatos, se evidenció un aumento progresivo en la resistencia a compresión, tracción y flexión durante los días de curado, alcanzando la resistencia esperada al día 28. El concreto con cemento tipo HS mostró ser menos resistente a la compresión, pero más resistente en tracción y flexión en comparación con el concreto

convencional, destacando su eficiencia en ambientes agresivos, especialmente a partir del día 14 de curado.

**Chambilla (2018)** en su Tesis “Evaluación de Aditivos Impermeabilizantes para la Eficiencia del concreto en Estructuras Hidráulicas del Distrito Curibaya – Candarave – Tacna, 2018” para obtener el título profesional de “Ingeniero Civil”. El objetivo de la investigación fue analizar el rendimiento de tres aditivos líquidos impermeabilizantes: Z 1, Chema 1 y Sika 1, aplicados en proporciones del 0.5% al 5.0% del peso del cemento. La metodología incluyó un tipo de investigación aplicada con un diseño cuasiexperimental, se elaboraron un total de sesenta muestras de concreto con estos aditivos, además de seis muestras sin aditivo. Todos los especímenes fueron curados en agua durante 28 días y luego se secaron a temperatura ambiente, siguiendo la NTP 339.183. Se realizaron pruebas de permeabilidad para evaluar la profundidad de la penetración del agua y calcular los coeficientes de permeabilidad. Según la norma NTC 4483, las profundidades de penetración se clasificaron en baja (< 30 mm), media (30 mm a 60 mm) y alta (> 60 mm).

Los resultados indicaron que la penetración máxima fue de 28 mm para el concreto con aditivos y  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ , 20 mm para el concreto con aditivos y  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , y 37 mm para el concreto sin aditivo y  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ , permitiendo evaluar la eficacia de los aditivos impermeabilizantes en el concreto. El autor concluye que se logró una eficiencia en el concreto, ya que las profundidades de penetración por acción del agua a presión se mantuvieron por debajo de los 30 mm, todos en la categoría de permeabilidad media. Por último, se determinó el porcentaje de aditivo impermeabilizante necesario para alcanzar la eficiencia en el concreto, siendo Z 1 líquido desde 3,5 % y Chema 1 líquido desde 2 % para  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ ; y Z 1 líquido desde 1,5 %, Chema 1 líquido desde 0,5 % y Sika 1 líquido desde 0,5 % para  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

**Granados (2017)** en su investigación titulada “Grado de Presencia Del Sulfato Con La Resistencia A La Compresión Del Concreto, En La Ciudad De Huaraz” para optar al título profesional de “Ingeniero Civil” en la Universidad Nacional de Ancash “Santiago Antúnez

De Mayolo". El objetivo de esta investigación fue evaluar la relación entre el grado de presencia del sulfato con la resistencia a la compresión del concreto. La metodología incluyó una investigación cuantitativa, descriptiva, correlacional. Se elaboraron 24 briquetas normales y 12 briquetas expuestas a sulfato de Sodio, haciendo un total de 36 muestras, las cuales se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión.

Los resultados indican que El concreto con resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$  mostró una resistencia promedio de  $243.13 \text{ kg/cm}^2$ , pero tras 30 días de exposición a un agente sulfato al 50 %, su resistencia promedio disminuyó a  $171.18 \text{ kg/cm}^2$ , lo que representa una pérdida de  $71.95 \text{ kg/cm}^2$  (34.27 %). Con el agente sulfato al 100 %, la resistencia promedio cayó a  $155.65 \text{ kg/cm}^2$ , resultando en una pérdida de  $87.48 \text{ kg/cm}^2$  (41.66 %). Para el concreto de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , la resistencia promedio inicial fue de  $291.69 \text{ kg/cm}^2$ ; después de 30 días con el agente sulfato al 50 %, se redujo a  $256.29 \text{ kg/cm}^2$ , con una pérdida de  $35.40 \text{ kg/cm}^2$  (12.65 %). Con el sulfato al 100 %, la resistencia promedio fue de  $238.29 \text{ kg/cm}^2$ , lo que representa una pérdida de  $53.40 \text{ kg/cm}^2$  (19.08 %). El autor concluye que la exposición del concreto a agentes sulfatantes resultó en pérdidas significativas de resistencia, siendo más pronunciadas con concentraciones más altas del agente. En concreto con resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , las pérdidas de resistencia fueron del 34.27 % y 41.66 % para exposiciones al 50 % y 100 % del agente sulfato, respectivamente. En el caso del concreto de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , las pérdidas fueron menores, con un 12.65 % al 50 % y 19.08 % al 100 %. Estos resultados subrayan la importancia de considerar la resistencia a los sulfatos en el diseño de mezclas de concreto para aplicaciones en ambientes agresivos.

**Olórtegui y Guiller (2021)**, en su tesis titulada "Evaluación del comportamiento por ataque de sulfato del concreto elaborado con cemento tipo V y HS" para optar al título profesional de "Ingeniero Civil" en la Universidad Nacional de Ingeniería. El objetivo principal fue analizar y comparar el desempeño del concreto elaborado con dos tipos de cemento con alta resistencia a ambientes agresivos con sulfatos, determinando su

influencia en la durabilidad y resistencia mecánica del material. La metodología fue cuantitativa experimental, se elaboraron mezclas de concreto utilizando el método de Bolomey con cemento Andino Tipo HS y cemento Andino Tipo V, empleando relaciones agua/cemento de 0,45 y 0,60. Se incorporó el aditivo superplastificante Sika ViscoCrete SC-70 y agregados de la cantera Valle Grande. Para simular la degradación de los especímenes, se utilizó sulfato de magnesio como agente agresivo y se aplicó un ensayo de corrosión acelerado mediante ciclos de humedecido y secado. Posteriormente, se realizaron ensayos de resistencia mecánica y durabilidad.

Los resultados indicaron que el concreto elaborado con cemento Tipo HS presentó un mejor desempeño frente al ataque por sulfatos en comparación con el concreto de cemento Tipo V. En el ensayo de resistencia a la compresión, el concreto con cemento Tipo HS obtuvo un incremento del 17,31%, mientras que, en el ensayo de resistencia a la tracción indirecta, la mejora fue del 15,54%. Asimismo, los especímenes de concreto con cemento Tipo V mostraron una mayor absorción (7,26%) y un mayor contenido de vacíos (6,66%), evidenciando una menor resistencia a la degradación por sulfatos. El estudio concluyó que, bajo las condiciones evaluadas, el concreto elaborado con cemento Tipo HS presentó una mayor durabilidad en ambientes con presencia de sulfatos, reduciendo la absorción de agentes agresivos y manteniendo mejores propiedades mecánicas en comparación con el concreto de cemento Tipo V. Esto resalta la importancia de una adecuada selección del tipo de cemento para optimizar la vida útil de estructuras expuestas a ambientes agresivos.

## **3.2. Bases teóricas**

### **3.2.1. Cemento:**

El cemento es un material con capacidad adhesiva y cohesiva, lo que le permite aglutinar los agregados y formar un compuesto sólido, resistente y duradero conocido como concreto (Neville, 2013).

Existen una variedad de materiales cementantes, como la cal, el asfalto y el yeso, entre otros. Sin embargo, desde el punto de vista de la tecnología del concreto, los cementos más importantes son los cementos calcáreos, que son hidráulicos, es decir, desarrollan sus propiedades en presencia de agua debido a la reacción química que se produce entre ambos materiales (Matallana, 2019).

Según la norma ASTM, los cementos están clasificados de la siguiente manera:

**Cementos según la Norma ASTM C150:** La norma ASTM C150 regula los cementos Portland empleados en la construcción, estableciendo cinco tipos principales: el Tipo I, de uso general; el Tipo II, con moderada resistencia a sulfatos; el Tipo III, de alta resistencia inicial; el Tipo IV, de bajo calor de hidratación, ideal para estructuras masivas; y el Tipo V, con alta resistencia a los sulfatos. Estos cementos son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones estructurales y de infraestructura (ASTM, 2023).

**Cementos según la Norma ASTM C595:** La norma ASTM C595 abarca cementos hidráulicos con adiciones minerales que mejoran la durabilidad y resistencia química. Entre ellos se encuentran el Cemento Portland Compuesto (Tipo IP), con puzolanas; el Cemento Portland con Escoria (Tipo IS), que incorpora escoria de alto horno; el Cemento con Humo de Sílice (Tipo I(PM)), con mayor resistencia mecánica; y el Cemento de Alto Horno (Tipo S), altamente durable frente a agentes agresivos. Estos cementos se emplean en ambientes expuestos a sulfatos y cloruros (ASTM, 2023).

**Cementos según la Norma ASTM C1157:** La norma ASTM C1157 clasifica cementos por desempeño en lugar de composición, brindando mayor flexibilidad en su formulación. Incluye el Cemento de Uso General (GU), para aplicaciones estándar; el Cemento de Moderada Resistencia a Sulfatos (MS), que protege contra ataques químicos; el Cemento de Alta Resistencia a Sulfatos (HS), para ambientes altamente agresivos; el Cemento de Bajo Calor de Hidratación (LH), ideal para estructuras masivas; y el Cemento de Alta Resistencia Inicial (HE), para proyectos que requieren resistencia rápida (ASTM, 2023).

**Cemento tipo HS:** El cemento de alta resistencia a los sulfatos (HS) está regulado por la norma ASTM C1157, este tipo de cemento está diseñado para resistir el ataque de sulfatos en ambientes agresivos, como suelos y aguas con alto contenido de sulfatos, lo que lo hace ideal para estructuras en contacto con aguas subterráneas, sistemas de saneamiento y cimentaciones en suelos salinos (ASTM, 2023).

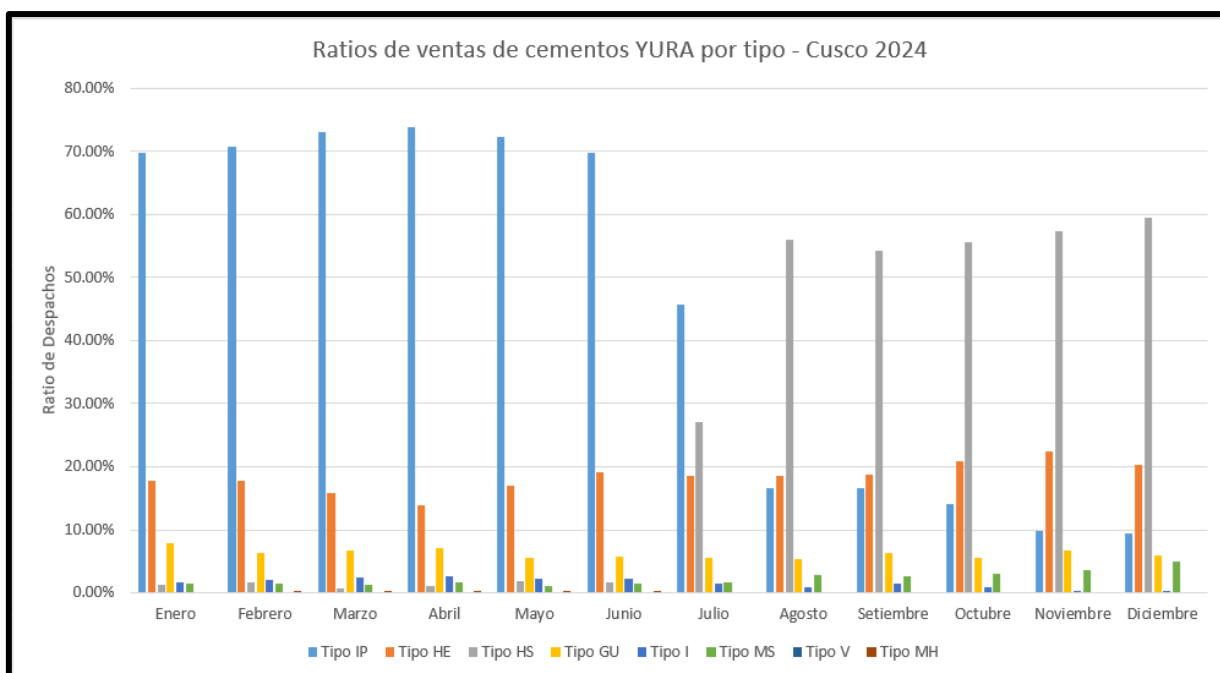
**Cemento tipo HS en la región del Cusco:** El cemento Yura MAX es un tipo de cemento Portland Tipo HS con alto contenido de puzolana, diseñado para ofrecer mayor impermeabilidad y resistencia a los sulfatos. Su formulación permite mejorar la durabilidad del concreto en estructuras expuestas a ambientes agresivos, como suelos con alta presencia de sulfatos y zonas de alta humedad (YURA S.A., 2024).

En una carta emitida por YURA S.A. (2024), la empresa informó que a partir de julio del año 2024 se adecuó a los lineamientos del Código Técnico de Construcción Sostenible, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 014-2021-VIVIENDA. Como parte de esta adecuación, se realizó el cambio de denominación del cemento YURA MULTIPROPÓSITO Tipo IP al nuevo YURA MAX Tipo HS, cumpliendo así con las exigencias establecidas en dicho código.

A continuación, se muestran los ratios de despachos de cementos por tipo en la región del Cusco.

**Figura 1**

*Ratio de ventas de cementos YURA por tipo en la región del Cusco, año 2024*



*Nota.* En la figura se presentan las ventas de los distintos tipos de cemento YURA expresadas en ratios. Hasta julio de 2024, el cemento más comercializado en la región era el tipo IP (color azul); sin embargo, a partir de esa fecha, el uso del cemento tipo HS (color plomo) ha experimentado un incremento significativo, alcanzando el 27.86% del total de ventas del año 2024. Fuente: (YURA S.A., 2024)

### 3.2.2. Agregados:

Los agregados son grupos de partículas con origen natural o artificial que pueden ser procesadas o producidas, y que tienen dimensiones que se ajustan a los límites establecidos. Estos materiales, conocidos como áridos, incluyen:

- **Agregado grueso:** Este es el material que se retiene en un tamiz de 4,75 mm (N°4), derivado de la desintegración natural o mecánica de rocas y que cumple con las normas establecidas (Cordero et al).

- **Agregado fino:** Comprende el material donde el 100% pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8 pulg) y se retiene en uno de 74  $\mu\text{m}$  (N° 200), y debe cumplir con los requisitos normativos (Cordero et al).

Las propiedades de los agregados influyen directamente en la calidad del concreto, por lo que es fundamental que cumplan con ciertos requisitos normativos. La norma ASTM C33 establece las especificaciones para los agregados finos y gruesos en concreto, incluyendo límites de granulometría, contenido de impurezas y resistencia al desgaste (ASTM, 2020). Además, la norma ASTM C136/C136M regula el procedimiento para el análisis granulométrico de los agregados, determinando la distribución de tamaños de partículas en una muestra (ASTM, 2021).

En el Perú, la NTP 400.037 especifica los requisitos granulométricos y de limpieza para los agregados utilizados en concreto estructural (INACAL, 2020). Asimismo, la NTP 400.038 establece el método de ensayo para la determinación del porcentaje de humedad y absorción de los agregados, parámetros esenciales para el ajuste del diseño de la mezcla (INACAL, 2019). Estas normativas garantizan que los agregados utilizados en proyectos de infraestructura cumplan con los estándares de calidad y desempeño.

### **3.2.3. Agua para concreto:**

El agua utilizada en la preparación del concreto juega un papel fundamental en el proceso de hidratación del cemento y en la calidad final de la mezcla. La normativa ASTM C1602 regula los requisitos para el agua de mezclado y curado del concreto, estableciendo límites en la cantidad de impurezas permitidas, como sulfatos, cloruros y materia orgánica (ASTM, 2020).

En el Perú, la NTP 339.088 establece los requisitos de calidad del agua para concreto, incluyendo los límites permisibles de contaminantes y el método de ensayo para su evaluación (INACAL, 2019). Asimismo, la Norma Técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones exige que el agua utilizada en el concreto sea potable o cumpla con los

estándares establecidos en la NTP 339.088 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019).

**Agua para el curado:** El agua de curado es utilizada para mantener el concreto húmedo después de su colocación y acabado. Ayuda a prevenir la pérdida excesiva de humedad y permite que el concreto se endurezca adecuadamente, mejorando su resistencia y durabilidad. (MTC, 2016)

#### **3.2.4. Diseño de Mezcla:**

El diseño de mezclas de concreto es un proceso fundamental para garantizar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del material, especialmente en entornos expuestos a agentes agresivos como los sulfatos. En el ámbito internacional, el American Concrete Institute (ACI) establece criterios fundamentales a través de la norma ACI 211, la cual detalla los procedimientos para la dosificación de mezclas de concreto en función de la resistencia requerida, el tamaño máximo del agregado y las condiciones de exposición (ACI, 2009).

En el contexto peruano, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) regula el diseño de mezclas de concreto mediante la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado. Esta normativa establece las especificaciones y requisitos mínimos de resistencia y durabilidad del concreto en función a los factores a los cuales este expuesto. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019). Además, la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.034 especifica los procedimientos para la dosificación de mezclas de concreto en el país (INACAL, 2020).

#### **3.2.5. Concreto:**

El concreto es un material compuesto de uso extendido en la construcción por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Su composición incluye cemento, agregados como arena y grava, agua y aditivos. Sus propiedades físicas y mecánicas, como la resistencia

a la compresión, la permeabilidad y la durabilidad, son factores clave para determinar su calidad (SENCICO, 2020).

### 3.2.5.1. Propiedades del Concreto fresco:

Las propiedades del concreto fresco son referidas a las características y comportamientos del concreto antes de su fraguado y endurecimiento. Estas propiedades son evaluadas durante la etapa de mezclado, colocación y vibrado del concreto. Según MTC (2016), algunas de las propiedades del concreto fresco son:

- **El calor de hidratación** es una propiedad inherente del proceso químico de fraguado y endurecimiento del cemento. Durante la hidratación, el cemento reacciona con el agua, generando calor como subproducto. Esta liberación de calor puede ser significativa, especialmente en grandes volúmenes de concreto, y puede provocar el aumento de la temperatura interna del concreto (MTC, 2016).
- **Trabajabilidad:** Algunos aditivos pueden mejorar la trabajabilidad del concreto, facilitando su colocación y compactación. Esto se puede lograr mediante la reducción de la viscosidad o la mejora de la cohesión del concreto (MTC, 2016).
- **Tiempo de fraguado:** Algunos aditivos acelerantes pueden reducir el tiempo de fraguado del concreto, lo que significa que comienza a endurecerse más rápidamente después de la mezcla. Esto puede ser beneficioso en situaciones donde se requiere un fraguado rápido o un desencofrado temprano (MTC, 2016).
- **Retención de asentamiento:** Los aditivos reductores de agua o superplastificantes pueden mejorar la capacidad del concreto de mantener su asentamiento (slump) durante un período de tiempo más prolongado. Esto permite una mayor trabajabilidad y facilidad de colocación, especialmente en concretos de alta resistencia. (MTC, 2016)
- **Segregación:** Es la separación de los componentes del concreto, especialmente la separación de los agregados más gruesos del mortero. La segregación puede

ocurrir debido a una mala trabajabilidad o una falta de cohesión en el concreto fresco (MTC, 2016).

- **Exudación:** Se refiere a la liberación de agua de la mezcla de concreto, que puede ocurrir cuando el agua de mezclado se separa de los materiales sólidos. Una exudación excesiva puede afectar la relación agua-cemento y la uniformidad del concreto (MTC, 2016).
- **Aire atrapado:** El aire atrapado en el concreto fresco se refiere a la presencia de pequeñas burbujas de aire distribuidas dentro de la masa de concreto. Estas burbujas de aire pueden estar compuestas principalmente de aire, pero también pueden contener pequeñas cantidades de otros gases, como dióxido de carbono (MTC, 2016).
- **Relación agua/cemento:** La relación agua-cemento representa la proporción entre la cantidad efectiva de agua y la masa de cemento en una mezcla de concreto fresco. Este concepto fue introducido en 1918 por el investigador estadounidense Duff A. Abrams, quien también diseñó el Cono de Abrams para evaluar la consistencia del concreto. Abrams demostró la existencia de una relación directa entre esta proporción y la resistencia a la compresión del concreto endurecido (MTC, 2016).
- **Cohesión:** Es la propiedad que permite que la mezcla mantenga su uniformidad y estabilidad sin segregarse ni exudar agua antes de fraguar (MTC, 2016).

### **3.2.5.2. Propiedades del concreto relacionadas con la calidad:**

#### **Resistencia a la Compresión:**

Para el concreto en estado endurecido, la resistencia a la compresión del concreto se refiere a su capacidad para resistir fuerzas de aplastamiento, un fenómeno que ocurre en todos los materiales utilizados en la construcción de estructuras (Hernandez et al., 2018).

En la tecnología moderna del concreto estructural, esta resistencia a compresión es una de las propiedades más importantes para garantizar la calidad del material en la

ejecución de estructuras, el método más común para evaluar las resistencias mecánicas del concreto en estado endurecido es mediante ensayos en probetas o especímenes, las cuales se fabrican, curan bajo condiciones normalizadas y se ensayan a compresión, generalmente a los 28 días de edad (Vidaud, 2014).

Así mismo Matallana (2019), indica que la resistencia de un material se define como su capacidad para soportar esfuerzos sin experimentar fallos, en el caso del concreto esta resistencia está asociada al esfuerzo necesario para provocar su fractura, lo que ocurre cuando el esfuerzo aplicado alcanza su valor máximo. El concreto destaca por su alta resistencia a los esfuerzos de compresión, lo cual lo convierte en la propiedad principal utilizada tanto para su diseño como para su control de calidad.

#### **Durabilidad del Concreto:**

Es fundamental que cualquier estructura de concreto conserve su resistencia y funcionalidad a lo largo de su vida útil, cumpliendo con los requisitos establecidos. Para ello, el material debe ser capaz de soportar las condiciones de deterioro a las que estará expuesto (Vidaud, 2014).

A menudo, la durabilidad es considerada una característica secundaria y se le presta poca atención; sin embargo, su importancia es fundamental. Hasta hace poco, los avances en la tecnología del cemento y el concreto se enfocaban principalmente en alcanzar mayores resistencias, bajo la premisa de que "un concreto resistente es un concreto duradero". Las únicas preocupaciones adicionales eran los efectos del congelamiento y deshielo, así como ciertos tipos de ataque químico. Actualmente, se reconoce que, en muchas condiciones de exposición, tanto la resistencia como la durabilidad deben ser criterios igualmente prioritarios en el diseño de estructuras de concreto (Neville, 2013).

La inadecuada durabilidad se manifiesta a través del deterioro, que puede ser resultado de factores externos o de causas internas dentro del propio concreto. Las acciones responsables del deterioro pueden ser físicas, químicas o mecánicas. El ataque externo

ocurre principalmente por la acción de iones agresivos como cloruros, sulfatos o dióxido de carbono, además de varios líquidos y gases naturales o industriales (Neville, 2013).

### **3.2.6. Aditivos:**

Según la Norma E.060 (2009), un aditivo es un material que se incorpora al concreto, además del agua, los agregados y el cemento, antes o durante su mezclado, con el propósito de alterar sus propiedades.

Los aditivos se han convertido en componentes fundamentales cuyo uso es cada vez más frecuente, ya que hoy en día las mezclas sin aditivos son una rareza debido a los beneficios físicos y económicos que ofrecen, permitiendo el uso del concreto en condiciones que anteriormente presentaban grandes dificultades o incluso eran inviables (Neville, 2013).

La norma E.060 (2009) reconoce aditivos como incorporadores de aire, acelerantes y retardantes, mientras que la ASTM C 494 (2019) establece una clasificación más amplia, esta norma distingue siete tipos de aditivos: reductores de agua (Tipo A), retardantes (Tipo B), acelerantes (Tipo C), reductores de agua con efecto retardante (Tipo D) o acelerante (Tipo E), superfluidificantes (Tipo F) y superfluidificantes con efecto retardante (Tipo G).

Además de los aditivos mencionados anteriormente, existen otros diseñados para propósitos específicos, como la eliminación de aire, la acción antibacterial y la impermeabilización. Sin embargo, estos no cuentan con una estandarización suficiente que permita su uso generalizado de manera segura (Neville, 2013).

#### **3.2.6.1. Aditivos Impermeabilizantes:**

Los aditivos impermeabilizantes actúan frente a la penetración de agua bajo presión (disminuyendo el coeficiente de permeabilidad de Darcy) o impidiendo el transporte de líquidos al interior del material por capilaridad o difusión (SIKA PERÚ S.A., 2013).

El concreto absorbe agua debido a la succión capilar generada por la tensión superficial en los poros de la pasta de cemento hidratado. Los aditivos impermeabilizantes buscan

evitar esta absorción al incrementar el ángulo de contacto en las paredes de los poros, lo que hace que el agua sea repelida. Estos aditivos pueden actuar de distintas maneras, pero su efecto principal es reducir la permeabilidad del concreto. Además, algunos aditivos impermeabilizantes mejoran la trabajabilidad y cohesión de la mezcla, ya que contienen cera finamente dividida o emulsiones bituminosas, las cuales incorporan pequeñas cantidades de aire. Sin embargo, esto puede hacer que la mezcla sea más pegajosa (Neville, 2013).

### **3.2.7. Sulfatos y su impacto en el concreto:**

#### **3.2.7.1. Definición y tipos de sulfatos**

Los sulfatos son compuestos químicos que contienen el ion  $\text{SO}_4^{2-}$  que pueden encontrarse de forma natural o generarse por actividades humanas, como las descargas de aguas residuales industriales y el uso de fertilizantes en la agricultura. De manera natural, su presencia puede estar relacionada con depósitos minerales o con la deposición de partículas provenientes de la atmósfera (Castro et al., 2009).

En la naturaleza, los sulfatos más comunes incluyen los de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ) y calcio ( $\text{CaSO}_4$ ), que suelen encontrarse en suelos y aguas subterráneas. Aunque los sulfatos presentes en aguas freáticas suelen tener un origen natural, también pueden provenir del uso de fertilizantes o de descargas industriales. En algunos casos, estas fuentes contienen sulfato de amonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), un compuesto que puede reaccionar con la pasta de cemento hidratado, formando yeso y causando deterioro en la estructura del concreto (Neville, 2013).

#### **3.2.7.2. Mecanismos de ataque:**

La inadecuada durabilidad se manifiesta a través del deterioro, que puede ser resultado de factores externos o de causas internas dentro del propio concreto. Las acciones responsables del deterioro pueden ser físicas, químicas o mecánicas. El ataque externo

ocurre principalmente por la acción de iones agresivos como cloruros, sulfatos o dióxido de carbono, además de varios líquidos y gases naturales o industriales (Neville, 2013).

Los sulfatos atacan de forma física y química al concreto, el ataque físico causado por los sulfatos se manifiesta como la cristalización de sales de sulfato en la superficie del concreto, mientras que el ataque químico ocurre cuando los sulfatos penetran en el concreto y reaccionan químicamente formando compuestos expansivos como la etringita, el yeso y la thaumasita. En una pasta de cemento, los aluminatos y ferritos cálcicos anhidros presentes en el Clinker reaccionan químicamente con los sulfatos, formando sulfo aluminio cálcico hidratado cristalino, comúnmente llamado etringita (Skalny et al., 1996).

La expansión de estos compuestos dentro del concreto endurecido genera grandes tensiones internas que provocan fisuras. Estas fisuras facilitan y aceleran la entrada de más sulfato, lo que puede llevar a la desintegración del concreto (Coronel y Balseca, 2009).

El ataque de sulfatos no solo provoca expansión y agrietamiento severo en el concreto, sino que también reduce su resistencia al debilitar la cohesión de la pasta de cemento hidratado y disminuir la adherencia entre esta y los agregados (Neville, 2013).

**Tabla 1**

*Clasificación de la severidad de ambiente de sulfatos.*

Exposición	Concentración de sulfatos solubles expresados en SO <sub>4</sub>	
	En el suelo (%)	En el agua (ppm)
<b>Insignificante</b>	<0.1	<150
<b>Moderada</b>	0.1 a 0.2	150 a 1500
<b>Severa</b>	0.2 a 2.0	1500 a 10000
<b>Muy severa</b>	>2.0	>10000

*Nota.* PPM (partes por millón) es una unidad de concentración que indica la cantidad de una sustancia en una solución. En soluciones acuosas, 1 ppm equivale a 1 mg de soluto por litro de solución. Fuente: R.N.E Norma E 060 (2009).

La velocidad de deterioro del concreto debido al ataque de sulfatos aumenta a medida que la concentración de la solución de sulfatos se eleva, pero este aumento se vuelve menos pronunciado más allá de concentraciones de aproximadamente 0.5% para  $MgSO_4$  (sulfato de magnesio) o 1% para  $Na_2SO_4$  (sulfato de sodio) (Diaz, 2019). Sin embargo, incluso con una relación agua/cemento baja, una solución saturada de  $MgSO_4$  (sulfato de magnesio) puede causar daños graves al concreto, aunque este deterioro suele manifestarse después de un período de 2 a 3 años. Esto subraya la importancia de controlar y monitorear las concentraciones de sulfatos en entornos donde el concreto esté expuesto a esta sustancia (Arias Julca y Espinoza Leyton, 2021).

Según Coronel y Balseca (2009), Los sulfatos solo pueden penetrar en el concreto si están disueltos en agua, y su entrada será más fácil o difícil según la permeabilidad del concreto.

- **Permeabilidad del concreto:** La durabilidad del concreto depende en gran parte de su capacidad para resistir la penetración de fluidos y gases. Los líquidos, específicamente, pueden infiltrarse en la estructura porosa del concreto mediante diversos principios físicos como la permeabilidad, la difusión (adsorción) y la absorción capilar. La permeabilidad está relacionada con el movimiento de líquidos bajo un gradiente de presión, típico en las estructuras de retención de agua. En contraste, la absorción capilar se refiere al ascenso de líquidos a través de capilares debido a la tensión superficial del líquido en las paredes del capilar (SIKA PERÚ S.A., 2013).

### **3.2.8. Zonas altoandinas y condiciones ambientales**

Las zonas altoandinas se refieren a las regiones geográficas situadas en las áreas elevadas de la cordillera de los Andes en América del Sur. Estas áreas suelen caracterizarse por su altitud considerable, según Pulgar (1996), las zonas altoandinas comprenden las Regiones Naturales de Quechua, Suni, Puna y Janca, abarcando altitudes

desde los 2,300 m.s.n.m. hasta los 6,768 m.s.n.m., siendo este último el punto más alto del país, ubicado en el Nevado de Huascarán.

### **3.2.8.1. Caracterización climática de la región Cusco**

Cusco se encuentra en la zona suroriental de Perú, entre las coordenadas de latitud (-11°12'44" y -15°27'29.8") y longitud (-73°58'51.9" y -70°20'42"). Limita al norte con Ucayali, al este con Madre de Dios y Puno, al sur con Arequipa, y al oeste con Ayacucho y Junín. Su altitud varía desde los 532 m.s.n.m. en Pilcopata (Paucartambo) hasta los 6,372 m.s.n.m. en el Nevado Auzangate, Ocongate, Quispicanchi (CENEPRED, 2022).

En la región Cusco, las zonas altoandinas situadas por encima de los 2,300 m.s.n.m. presentan climas que varían desde semifrío húmedo hasta frío seco. Estas áreas incluyen localidades como Anta, Cusco, Urcos, Sicuani, Espinar, Chumbivilcas, etc, (SENAMHI, 2012).

Según un informe del Centro Nacional de Estimación, prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED (2022) indica que las zonas altoandinas de región del Cusco son susceptibles a temperaturas muy frías pudiendo estas alcanzar temperaturas por debajo de los 0°C. En las zonas de mayor altitud de la región de Cusco, durante el mes de julio, las temperaturas mínimas pueden descender por debajo de los -8°C, alcanzando heladas muy severas, especialmente en las provincias de Espinar, Canas, y partes de Canchis y Chumbivilcas, donde las temperaturas varían entre -10°C a -15°C. En la mayoría de estas provincias, las heladas nocturnas oscilan entre -10°C y -6°C, clasificándose como fuertes a severas. En otras provincias como Acomayo, Paruro, Cusco, Anta y la sierra de Quispicanchi, las temperaturas mínimas se mantienen entre -4°C y -8°C, mientras que, en las zonas más bajas de los valles de Urubamba, Cusco, Paruro, Anta, Acomayo, Quispicanchi y Calca, las temperaturas nocturnas rondan entre 0°C y -4°C, lo que se considera heladas suaves a moderadas. Por último, en las zonas cercanas a la región amazónica, como las provincias de La Convención, Calca y Paucartambo, las temperaturas mínimas se mantienen por encima de los 0°C (SENAMHI, 2024).

### 3.2.8.2. Bajas temperaturas y su impacto en el concreto

La norma ACI 306R (2016) nos indica que, si en cualquier época del año por más de 3 días consecutivos la temperatura está por debajo de los 5 °C, se considera “clima frío”, y si esto se presenta durante el momento del vaciado, puede causar el congelamiento del concreto y su resistencia potencial se ve afectada reduciendo hasta un 50% durante el fraguado, debido a que el agua en estado sólido (congelado) ocupa más espacio y rompe la cohesión entre las partículas que conforman el concreto, además el tiempo de fraguado, así como la ganancia de resistencia se ve ralentizado.

El concreto desarrolla una baja resistencia a bajas temperaturas, por lo que debe protegerse de los efectos negativos de la congelación hasta que el proceso de hidratación reduzca su grado de saturación. El clima frío puede causar problemas como bajas resistencias, congelación prematura, un desarrollo lento de la resistencia mecánica y una menor durabilidad del concreto, ya que la temperatura baja ralentiza la hidratación del cemento (McNeese 1952).

La Norma E 060 (2009), nos indica que los concretos que están expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo deben tener aire incorporado en la siguiente medida:

**Tabla 2**

*Contenido de aire incorporado para concreto expuesto a congelamiento.*

TMN (mm)	Contenido de aire	
	Exposición severa	Exposición moderada
9.5	7.5	6.0
12.5	7.0	5.5
19.0	6.0	5.0
25.0	6.0	4.5
37.5	5.5	4.5
50.0	5.0	4.0
75.0	4.5	3.5

*Nota.* En la tabla se observa el contenido de aire a incorporar expresado en %, según el tipo de exposición al congelamiento y el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso.

Fuente: R.N.E Norma E 060

### 3.3. Definición de términos

**Calidad del concreto:** Se refiere a las propiedades y características del concreto que determinan su trabajabilidad y su durabilidad (SENCICO, 2020).

**Resistencia del concreto:** Es la capacidad del concreto para soportar cargas y fuerzas externas sin sufrir deformaciones o fallas. Se mide mediante pruebas de resistencia a la compresión, tracción, flexión, entre otras (SENCICO, 2020).

**Cemento tipo HS:** Es un tipo de cemento que ofrece mayor resistencia a los ataques químicos de sulfatos presentes en el suelo, el agua y aire. Su uso puede ser beneficioso en condiciones específicas (YURA S.A., 2024).

**Aditivos Impermeabilizantes:** Son sustancias químicas que se agregan al concreto disminuyendo la permeabilidad del concreto. Pueden disminuir la porosidad del concreto aumentando su resistencia y tiempo de vida, lo cual es especialmente útil en zonas con presencia de aguas y sulfatos (SIKA PERÚ S.A., 2013).

**Durabilidad del concreto:** Es la capacidad del concreto para resistir el deterioro y mantener sus propiedades estructurales a lo largo del tiempo. Incluye la resistencia a la corrosión y la acción de agentes químicos, entre otros (SENCICO, 2020).

**Presencia de Sulfatos:** Los sulfatos reaccionan con el concreto, formando sustancias expansivas que pueden dañar las estructuras al aumentar su volumen y causar fisuras. Esto puede debilitar la resistencia del concreto y reducir su durabilidad, especialmente en ambientes húmedos, lo que destaca la importancia de la selección de materiales y medidas preventivas adecuadas para mitigar este riesgo (Coronel y Balseca, 2009).

**Sulfato De Amonio:** El sulfato de amonio es una sal inorgánica con la fórmula química  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Consiste en iones de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Es un compuesto cristalino blanco o incoloro que se disuelve fácilmente en agua. Este compuesto se produce principalmente como un subproducto en la industria del gas natural y del petróleo, así como en la industria de la fertilización (Baffa et al., 2017).

**Zonas Altoandinas en la región del Cusco:** En la región del Cusco, las zonas altoandinas se identifican como áreas geográficas situadas por encima de los 2,300 metros sobre el nivel del mar (Pulgar , 1996).

## IV. Metodología

### 4.1. Tipo y Nivel de investigación

Esta investigación es de Tipo Cuantitativa debido a que busca comprobar su Hipótesis a partir de la recolección y análisis de los resultados numéricos extraídos de las pruebas de laboratorio de las muestras preparadas. Además, la investigación presenta un enfoque secuencial, preciso y concreto que busca evaluar la influencia del aditivo sobre la calidad del concreto expuesto a sulfatos midiendo sus propiedades de resistencia a la compresión, durabilidad y trabajabilidad (Silva et al., 2023).

Esta investigación tiene un nivel de investigación descriptivo, ya que se relaciona con el objetivo de describir y caracterizar las propiedades y comportamiento del concreto en las condiciones mencionadas. Se busca obtener información detallada sobre la resistencia a la compresión, durabilidad y la trabajabilidad en relación con la incorporación del aditivo impermeabilizante y exposición a sulfatos. Este enfoque permite proporcionar una imagen clara y detallada de las características del concreto evaluado en la investigación (Hernández et al., 2014).

Es una Investigación Experimental porque comprueba la hipótesis manipulando controladamente las variables independientes, como lo son la cantidad de aditivo impermeabilizante y la cantidad de sulfato, generando así una relación de causa y efecto. Este tipo de investigación plantea que las modificaciones de la variable dependiente en este caso la calidad del concreto se deba exclusivamente a los cambios en las variables

independientes. El objetivo es obtener resultados concretos y verificables para responder a los objetivos planteados en la investigación (Silva et al., 2023).

## **4.2. Ámbito temporal y espacial**

El proyecto se llevó a cabo de manera temporal durante el año 2024, con pruebas realizadas en distintos meses del mismo año. Estas pruebas simulaban la exposición a sulfatos y se llevaron a cabo en el *laboratorio de concreto Ingeotecnia*, ubicado en el distrito de San Sebastián, en la región del Cusco, considerando las condiciones propias de las zonas altoandinas de la región.

## **4.3. Población y muestra**

### **4.3.1. Población**

La población objetivo del presente estudio está constituida por las estructuras de concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaboradas con cemento tipo HS, diseñadas y construidas en las zonas altoandinas de la región del Cusco, donde el material está expuesto a ambientes agresivos compuestos de sulfatos. Asimismo, se considera como parte de la población las diversas combinaciones de mezclas de concreto que incluyen aditivo impermeabilizante “*SIKACem impermeable*”, susceptibles de ser evaluadas en condiciones controladas de laboratorio. Así, una población es el conjunto de todos los casos (Hernández et al., 2014).

### **4.3.2. Muestra**

En el ámbito cuantitativo, una muestra se considera un subconjunto de la población objetivo del cual se recopilarán datos. Esta muestra debe ser definida y delimitada con exactitud para que sea representativa de la población (Hernández et al., 2014).

La muestra seleccionada para el presente estudio está conformada por probetas cilíndricas de concreto de medidas normalizadas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, elaboradas en el *laboratorio de concreto Ingeotecnia*, ubicado en el distrito de San Sebastián, Cusco. Las probetas fueron diseñadas en base a la norma E.60 y norma ACI 211 considerando las condiciones de zonas altoandinas, incorporando un aditivo

impermeabilizante en distintas cantidades, y sometidas a un proceso de exposición a soluciones de sulfato de amonio en concentraciones controladas de 10000 ppm.

**Tabla 3**

*Cantidad de muestras utilizadas en la investigación*

<b>CONCRETO PATRON CEMENTO TIPO IP</b>					
	<b>Edad</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>60 días</b>
Concreto patrón		6	6	6	6
<b>GRUPO EXPERIMENTAL NO EXPUESTAS A SULFATOS</b>					
	<b>Edad</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>60 días</b>
Muestras con 400 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras con 800 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras con 1200 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras elaboradas con cemento portland tipo IP				6	6
<b>GRUPO EXPERIMENTAL EXPUESTAS A SOLUCIÓN DE SULFATO DE AMONIO</b>					
	<b>Edad</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>	<b>60 días</b>
Muestras sin aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras con 400 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras con 800 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras con 1200 ml de aditivo impermeabilizante		6	6	6	6
Muestras elaboradas con cemento portland tipo IP				6	6
	<b>N° de probetas</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
	<b>Total</b>			<b>216</b>	

*Nota.* En la tabla se muestra la cantidad de muestras según los días de ensayo y los grupos experimentales.

- **Grupo patrón:** Probetas sin contenido de aditivo impermeabilizante ni exposición a solución de Sulfato de Amonio, elaborados con cemento tipo HS.
- **Grupo experimental:** Probetas con dosificación de aditivo impermeabilizante entre 400 ml a 1200 ml y expuestas a una solución de sulfatos de 10000 ppm.

Para garantizar resultados estadísticamente representativos, se considera un nivel de confianza del 95% ( $Z=1.96$ ), un margen de error del 10% y una desviación estándar de 25 kg/cm<sup>2</sup>, siguiendo las recomendaciones para ensayos destructivos en materiales de construcción (Montgomery, 2019). Al usar la fórmula de estimación de número de muestras para investigaciones cuantitativas:  $n = \left( \frac{\text{Nivel de confianza} * \text{Desviación estándar}}{\text{Error máximo tolerable}} \right)^2$ , además de seguir las indicaciones de la norma E.060 (2009), se tiene como tamaño de muestra **6 briquetas** para evaluar una resistencia promedio, y se extendió la edad de ensayo hasta los 60 días con el objetivo de aumentar el tiempo de exposición a los sulfatos y evidenciar de manera más clara los efectos de dicha exposición.

#### 4.4. Instrumentos

**Muestreo:** Se utilizaron agregados gruesos y finos de las canteras de Checacupe, seleccionando una muestra representativa siguiendo las normas NTP 100.010 y ASTM C 75. Los materiales fueron almacenados en sacos y recolectados con pala, registrando los datos en un block de notas.

**Material Fino que pasa el Tamiz N°200:** conforme a las normas NTP 400.018 y ASTM C 117, utilizando balanza de precisión, horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , tamices N°200 y N°16, y un recipiente para lavado.

**Granulometría de los agregados:** según la NTP 400.012 y ASTM C136/C136M, empleando balanza de precisión, tamices estándar, cernidor mecánico y horno.

**Contenido de humedad de los agregados:** medido conforme a NTP 400.021:2014 y ASTM C566, con balanza de precisión, cernidor mecánico y horno.

**Peso específico y absorción de los agregados:** evaluados según NTP 400.022 (agregado fino) y NTP 400.021 (agregado grueso), empleando balanza, horno, frasco volumétrico o picnómetro, molde cónico y varilla de apisonado. Para el agregado grueso, se usaron también canastilla con malla de alambre, recipiente con agua y tamices N°4,75 mm (N°4).

**Peso unitario de los agregados:** determinado conforme a NTP 400.017 y ASTM C29/C29M, con balanza, recipiente de medida calibrado y varilla compactadora.

**Preparación y ensayos del concreto:** La mezcla de concreto se elaboró siguiendo la NTP 339.185:2015 y ASTM C192/C192M, utilizando briqueteras de plástico de 4"x8". Se preparó una solución de sulfatos para simular condiciones de exposición en zonas altoandinas, utilizando balanza y frasco volumétrico. Las muestras fueron expuestas en tinas plásticas de 100L y curadas conforme a NTP 339.183 y ASTM C511. Para evaluar la calidad del concreto, se realizaron los siguientes ensayos:

- Resistencia a la compresión, usando una máquina de compresión de acuerdo con NTP 339.034 y ASTM C39/C39M.
- Trabajabilidad, determinada mediante el ensayo de asentamiento con cono de Abrams, conforme a NTP 339.035 y ASTM C143/C143M, usando cono de Abrams, varilla de compactación, regla o cinta métrica y base metálica no absorbente.

## **4.5. Procedimientos**

### **4.5.1. Muestreo de agregados**

El muestreo de agregados se realizó en la zona de almacenamiento de la cantera en Lloclora, distrito de Checacupe. Para garantizar una muestra representativa, se extrajeron materiales de tres puntos del montículo: superior, central y fondo, tanto para el agregado fino como para el grueso. Para los ensayos de agregados se recolectaron 25 kg de agregado grueso de 3/4" y 10 kg de agregado fino, cumpliendo con la norma NTP 400.010.

**Figura 2***Extracción de muestras de cantera*

*Nota.* En la fotografía se observa la cantera ubicada en el poblado de Llocllora del distrito de Checacupe del cual se usaron los agregados.

**Tabla 4***Masa mínima para el muestreo en campo*

<b>Tamaño máximo nominal del agregado</b>	<b>Masa mínima aproximada para la muestra de campo Kg</b>
<b>Agregado fino</b>	
2.36 mm	10
4.76 mm	10
<b>Agregado grueso</b>	
9.5 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50.00 mm	100

*Nota.* Se muestra la masa mínima de recolección según el tamaño máximo nominal.

Fuente: Norma Técnica peruana 400.010

#### **4.5.2. Material Fino que pasa el Tamiz N°200**

##### **4.5.2.1. Material Fino que pasa el Tamiz N°200 del agregado fino**

Se obtuvo una muestra representativa de 5000 g mediante muestreo y se secó en horno hasta alcanzar un peso constante, dejándola enfriar a temperatura ambiente. Luego, se colocó en un recipiente con agua limpia y se agitó vigorosamente para separar las

partículas finas, decantando el agua a través de un tamiz N° 200 hasta que el lavado resultara claro. Posteriormente, las partículas retenidas en el tamiz se secaron en horno a  $110 \pm 5$  °C hasta obtener un peso constante, registrándose el peso final para calcular el porcentaje de material fino mediante la fórmula correspondiente.

$$\%Material\ fino = \left( \frac{A - B}{A} \right) * 100$$

Donde:

*A = Peso de la muestra original seca (gr)*

*B = Peso de la muestra seca despues de lavarla (gr)*

**Tabla 5**

*Requisitos del agregado fino para concreto*

Ítem	Porcentaje en masa de la Muestra Total, max
Terrones de arcilla y partículas friables de arcilla	3.0
Material más fino que el tamiz 75-µm (N°200)	
Concreto sujeto a abrasión	3.0
Todo el otro concreto	5.0
Carbón y lignito	
Donde la apariencia de la superficie del concreto es importante	0.5
Todo el otro concreto	1.0

*Nota.* Porcentaje máximo de sustancias perjudiciales en el agregado fino. Fuente: NTP

400-037 “Límites de Sustancias Nocivas”

**Tabla 6**

*Material que pasa el tamiz N°200 del agregado fino por el método de lavado*

Datos	Promedio de pesos (gr)
Peso de la muestra original seca	4250.00
Peso de la muestra seca después de lavarla	4137.50
%Material fino	2.65%

*Nota.* Peso en gramos de las muestras de agregado fino en el ensayo de material que pasa el tamiz N°200.

#### 4.5.2.2. Material Fino que pasa el Tamiz N°200 del agregado grueso

- El procedimiento fue el mismo que con el agregado fino, sin embargo, los parámetros para el agregado grueso son como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 7**

*Requisitos del agregado grueso para concreto*

Designación de Clase	Tipo o Ubicación de la construcción de Concreto	Máximo Admisible
		Material más fino que el Tamiz 75- $\mu$ m (N°200)
	Regiones de intemperización severo	
1S	Zapatas, fundaciones, columnas y vigas no expuestas a la intemperie, losas de pisos interiores que van a ser revestidos.	1.0
2S	Pisos interiores sin revestimiento	1.0
3S	Muros de fundación por encima del nivel del terreno, muros de retención, estribos, pilares, vigas principales y vigas expuestas a la intemperie	1.0
4S	Pavimentos, Tableros de puente, caminos y cordones, senderos, patios, pisos de garaje, terrazas y pisos expuestos, o estructuras frente al agua sujetas a mojarse frecuentemente	1.0
5S	Concreto arquitectónico expuesto	1.0

*Nota.* Porcentaje máximo de sustancias perjudiciales en el agregado grueso. Fuente: ASTM C33 “Límites de Sustancias Perjudiciales”

**Tabla 8**

*Material que pasa el tamiz N°200 del agregado grueso por el método de lavado*

Datos	Promedio de pesos (gr)
Peso de la muestra original seca	5116.50
Peso de la muestra seca después de lavarla	5072.00
%Material fino	0.87%

*Nota.* Peso en gramos de las muestras de agregado grueso en el ensayo de material que pasa el tamiz N°200.

### **4.5.3. Granulometría de los agregados**

#### **4.5.3.1. Granulometría de agregado fino**

El análisis granulométrico de agregados finos se realizó siguiendo la norma N.T.P. 400.037, 2014

- Se trabajó con la muestra resultante del ensayo anterior, con un peso de 4137.50 g, la cual se secó en horno a una temperatura entre 100°C y 110°C hasta alcanzar un peso constante, eliminando cualquier humedad que pudiera afectar los resultados. Luego, se pesó la muestra seca para determinar el peso inicial total, necesario para calcular los porcentajes retenidos en los tamices. Se seleccionó una serie de tamices conforme a la norma NTP 400.037:2014, organizándolos en orden decreciente de tamaño de apertura.
- La muestra se colocó en el tamiz de mayor abertura y se realizó el tamizado mecánico durante al menos dos minutos. Posteriormente, se pesó el material retenido en cada tamiz y en el fondo de la pila, registrando los valores con precisión. Se calculó el porcentaje retenido en cada tamiz dividiendo el peso retenido por el peso total de la muestra y multiplicando por 100. Para determinar el porcentaje acumulado retenido, se sumaron los porcentajes retenidos en cada tamiz con los de mayor tamaño, mientras que el porcentaje que pasa se obtuvo restando el porcentaje acumulado retenido de 100.
- Finalmente, se elaboró la curva granulométrica en una gráfica, donde el eje X representó el tamaño de las aberturas de los tamices y el eje Y el porcentaje que pasa por cada tamiz. Esta curva permitió analizar la distribución de tamaños de partículas del agregado fino y evaluar su adecuación para la mezcla de concreto.

Tabla 9

## Granulometría del agregado fino

TAMIZ	Peso retenido	Peso retenido corregido	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado
mm	-	-	-	-	-
50.80	2"				100.00
38.10	1 1/2"				100.00
25.40	1"				100.00
19.05	3/4"				100.00
12.70	1/2"				100.00
9.53	3/8"	16.42	16.42	0.40	99.60
4.75	Nº 4	135.44	135.45	3.27	96.33
2.36	Nº 8	413.91	413.95	10.00	86.32
1.19	Nº 16	1039.53	1039.63	25.13	61.20
0.60	Nº 30	1057.01	1057.11	25.55	35.65
0.30	Nº 50	949.08	949.17	22.94	12.71
0.15	Nº 100	431.40	431.44	10.43	2.28
0.075	Nº 200	6.84	6.84	0.17	2.28
	Cazuela	87.48	87.48	87.49	100.00
	Total Retenido	4137.12	4137.50	100.00	

Nota. Tabla granulométrica del agregado fino.

Figura 3

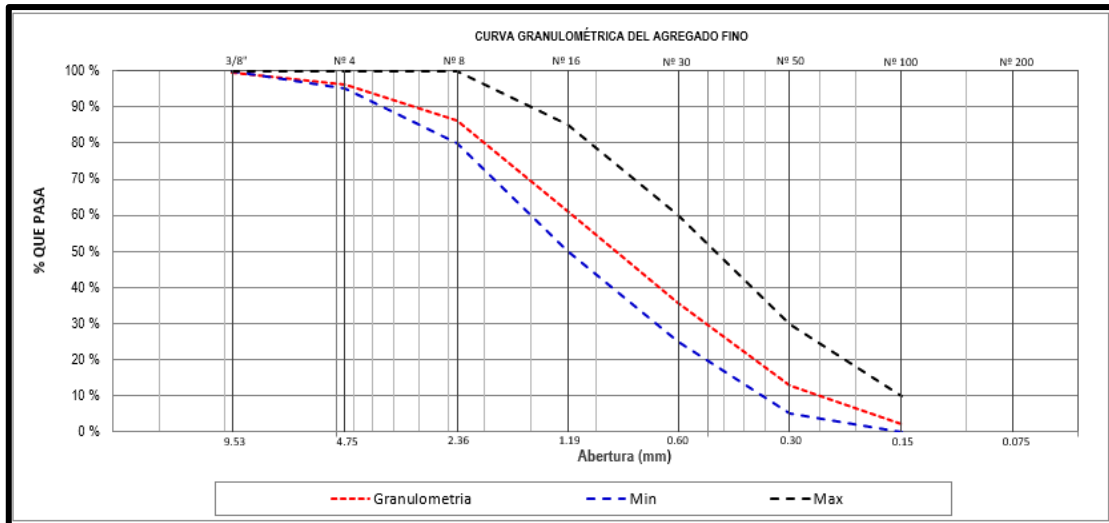
## Retenido de los tamices



- Nota. Material retenido en cada tamiz

**Figura 4**

*Curva granulométrica del agregado fino*



*Nota.* Curva granulométrica del agregado fino.

- Se calculó el módulo de fineza con la siguiente fórmula.

$$MF = \sum \% \text{RETENIDO ACUMULADO (3/8" , N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100)}$$

Obteniendo un módulo de fineza de 3.06

#### 4.5.3.2. Granulometría de agregado grueso

El procedimiento se realizó siguiendo la norma AASHTO T27 para el análisis de agregados gruesos mediante tamizado y siguiendo la normativa N.T.P. 400.037, 2014 en cuanto a los requisitos de gradación:

- Se utilizó la técnica del cuarteo para reducir el tamaño de la muestra, y obtener una muestra representativa de 3500 gr.
- Se lavó y luego secó en un horno a una temperatura de entre  $110 \pm 5$  °C hasta que alcance un peso constante.
- Se seleccionaron los tamices de diferentes aberturas que cubran el rango de tamaños del agregado. Se colocan las mallas o tamices en forma decreciente (1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8 y el fondo).

- Se pesó la muestra total de agregado seco antes de comenzar el proceso de tamizado. Este peso inicial es crucial para calcular posteriormente la cantidad de material retenido en cada tamiz y la fracción que pasa por los tamices.
- La muestra se colocó en la serie de tamices apilados, comenzando con el tamiz de mayor tamaño en la parte superior y el de menor tamaño en la parte inferior.
- La serie de tamices se sacudió mecánicamente durante un tiempo de 5 minutos para permitir que las partículas más pequeñas pasen a través de las aberturas de los tamices y las más grandes se retengan.
- Se pesó el material retenido en cada tamiz individualmente. Esto se hace para cada tamiz de la serie, desde el más grueso hasta el más fino.
- Además, se pesó la fracción de material que pasa por el tamiz más fino (por ejemplo, el tamiz de 4.75 mm si el análisis es solo para agregados gruesos).
- Se calculó el porcentaje del material retenido en cada tamiz dividiendo el peso del material retenido por el peso total de la muestra inicial.
- A partir de estos resultados, se elaboró una curva granulométrica que muestra la distribución del tamaño de las partículas.

### Figura 5

#### *Retenidos de Granulometría agregado grueso*



*Nota.* Material retenido de agregado grueso en cada tamiz.

Tabla 10

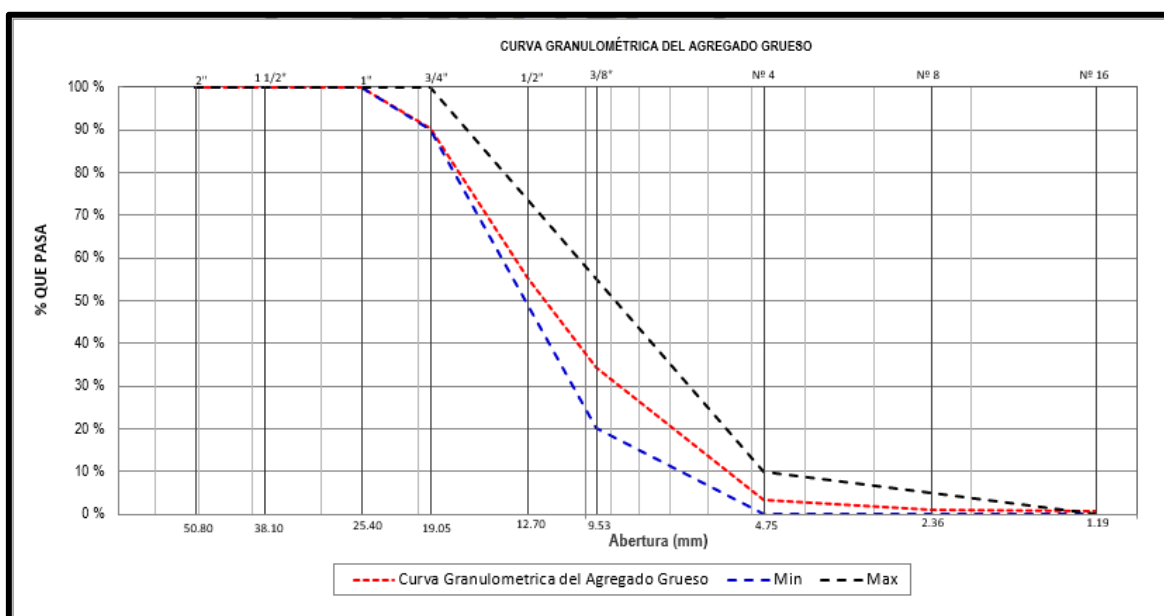
## Granulometría del agregado grueso

TAMIZ	Peso retenido	Peso retenido corregido	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado
50.80	2"				
38.10	1 1/2"				
25.40	1"				100.00
19.05	3/4"	479.65	479.79	9.46	9.46
12.70	1/2"	1788.62	1789.13	35.27	44.73
9.53	3/8"	1058.71	1059.02	20.88	65.61
4.75	Nº 4	1580.47	1580.93	31.17	96.78
2.36	Nº 8	118.69	118.72	2.34	99.12
1.19	Nº 16	15.91	15.91	0.31	99.44
Cazuela	-	28.49	28.50	0.56	100.00
Total Retenido		5070.54	5072.00	100.00	

Nota. Tabla granulométrica del agregado grueso.

Figura 6

## Curva granulométrica del agregado grueso



Nota. Curva granulométrica del agregado grueso

## 4.5.4. Contenido de humedad de los agregados

## 4.5.4.1. Contenido de humedad del agregado fino

- Se determinó el contenido de humedad en agregados finos según la norma AASHTO T255, se inicia con la toma de una muestra representativa, obtenida mediante un muestreo previo. La muestra se pesó inmediatamente después de su recolección para determinar su peso húmedo, que incluye tanto el material seco como el agua presente. En este caso, el peso húmedo registrado fue de 1361 g, utilizando una balanza de precisión.
- Luego, la muestra se colocó en un horno a una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C hasta que se eliminó completamente la humedad. Este proceso duró aproximadamente 24 horas o hasta alcanzar un peso constante, garantizando la total evaporación del agua. Durante el secado, se movió la muestra ocasionalmente para asegurar un secado uniforme en todo el material.
- Finalmente, la muestra seca se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó nuevamente para obtener su peso seco, que corresponde solo al material sin agua. Con estos datos, se calcula el contenido de humedad mediante la fórmula correspondiente, proporcionando el porcentaje de agua presente en relación con el peso seco del agregado fino.

$$\%W = \left( \frac{W_H - W_S}{W_S} \right) * 100$$

Donde:

$\%W =$  *Contenido de humedad*

$W_H =$  *Peso de la muestra Húmeda*

$W_S =$  *Peso de la muestra seca*

**Figura 7***Contenido de humedad del agregado*

*Nota.* Secado de la muestra en el Horno a  $110 \pm 5$  °C.

**Tabla 11***Contenido de humedad del agregado fino*

Datos	Promedio de pesos (gr)
Peso muestra húmeda	1361.00
Peso muestra seca	1311.06
% Contenido de humedad	3.81%

*Nota.* Peso de la muestra de agregado fino.

#### **4.5.4.2. Contenido de humedad del agregado grueso**

- El procedimiento para determinar el contenido de humedad en agregados gruesos según la norma AASHTO T255 inicia con la toma de una muestra representativa mediante muestreo previo. La muestra se pesó inmediatamente después de su recolección para obtener su peso húmedo, que incluye tanto el material seco como el agua presente en las partículas. Este pesaje se realizó rápidamente para evitar pérdidas de humedad antes del secado.

- Luego, la muestra se colocó en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante, asegurando la eliminación total del agua. Una vez seca, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó nuevamente para obtener su peso seco. Con estos datos, se calculó el contenido de humedad mediante la fórmula correspondiente, determinando el porcentaje de agua presente en el agregado grueso.

$$\%W = \left( \frac{W_H - W_S}{W_S} \right) * 100$$

Donde:

$\%W$  = Contenido de humedad

$W_H$  = Peso de la muestra Húmeda

$W_S$  = Peso de la muestra seca

**Tabla 12**

*Contenido de humedad del agregado grueso*

Datos	Promedio de pesos (gr)
Peso muestra húmeda	1380.70
Peso muestra seca	1376.50
% Contenido de humedad	0.31%

*Nota.* Peso de la muestra del agregado grueso.

#### **4.5.5. Peso específico y absorción de los agregados**

##### **4.5.5.1. Peso específico y absorción del agregado fino**

- Se tomó una muestra representativa de 1000 g de agregado siguiendo la norma MTC E 201, utilizando la técnica del cuarteo para asegurar su homogeneidad. La muestra se secó en un horno a  $110 \pm 5$  °C hasta alcanzar un peso constante y luego se dejó enfriar a temperatura ambiente durante tres horas antes de ser pesada. Posteriormente, se sumergió en agua durante 24 horas para alcanzar la condición de saturada, decantando cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de partículas finas.

- Para verificar la condición de saturada con superficie seca, la muestra se manipuló utilizando un molde cónico y una varilla de apisonado, compactándola en tres capas de igual volumen con 25 golpes por capa. El proceso se repitió hasta que la muestra presentó una ligera desmoronación con forma cónica en punta, indicando la condición adecuada. Luego, se tomó una fracción de 500 g y se introdujo en la fiola, llenándolo con agua hasta la marca estándar. Se eliminó el aire atrapado mediante giros controlados del frasco y se dejó reposar durante una hora antes de ser pesada.
- Finalmente, la muestra se retiró de la fiola, se secó en horno durante 24 horas y se pesó nuevamente. Estos datos permitieron determinar parámetros como la densidad y absorción del agregado, información clave para su uso en diseño de mezclas de concreto y control de calidad en obra.
- Con los datos obtenidos, se procedió a calcular los siguientes parámetros:
- Peso específico de masa (Pem):

$$Pe_m = \frac{A}{B + S - C}$$

- Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)

$$Pe_{sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pe_m = \frac{A}{B + A - C}$$

- Absorción (Ab)

$$A_b = \frac{S - A}{A} \times 100$$

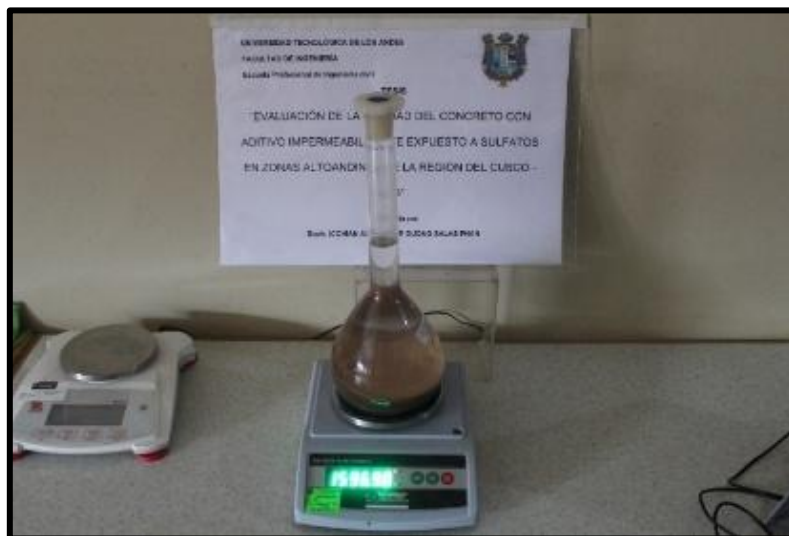
Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en el horno, (g)

B = peso de la fiola lleno con agua (g)

C = Peso de la fiola con la muestra y el agua hasta la marca de calibración

S = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

**Figura 8***Evaluación del peso específico*

*Nota.* Pesaje del frasco volumétrico o Picnómetro.

**Tabla 13***Peso específico y Absorción del agregado fino*

<b>Datos</b>	<b>Promedio de pesos (gr)</b>
A: Peso de la muestra seca	485.63
B: Peso de fiola aforado lleno de agua	1290.82
C: Peso total de fiola aforado con la muestra y lleno de agua	1597.05
S: Peso de la muestra saturada con superficie seca	500
<i>Peso específico aparente</i>	2.707 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Peso específico saturado superficie seca (SSS)</i>	2.580 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Peso específico de masa seca</i>	2.506 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Absorción</i>	2.96 %

*Nota.* Pesos de la muestra de agregado fino y resultados de peso específico y absorción.

**Figura 9***Evaluación del peso específico*

*Nota.* Uso de molde cónico y varilla de apisonado.

**4.5.5.2. Peso específico y absorción del agregado grueso**

- Se realizó el muestreo como en los pasos anteriores, ya que el tamaño máximo nominal del agregado grueso es de  $\frac{3}{4}$ " pesamos y obtenemos para este ensayo 2 kg de muestra.
- Se colocó la muestra en el horno durante 24 horas para obtener una muestra totalmente seca.
- Posteriormente se dejó la muestra sumergida en agua durante otras 24 horas con la finalidad que sature.
- Se esparció la muestra sobre una franela o tela absorbente que sirva para secar, de tal manera que se seque hasta desaparecer cualquier película de agua visible, es decir, superficialmente seca. A continuación, se procedió a pesar.

- Usando la canasta con malla de alambre, se introdujo el material dentro del balde conectando la canastilla a la balanza de precisión, a continuación, se registró el peso del material sumergido.
- Finalmente se volvió a introducir la muestra al horno por un período de 24 horas para determinar el peso de la muestra totalmente seca.
- Con los datos obtenidos, se procedió a calcular los siguientes parámetros:
- Peso específico de masa (Pem):

$$Pe_m = \frac{A}{B - C}$$

- Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pesss)

$$Pe_{sss} = \frac{B}{B - C}$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pe_m = \frac{A}{A - C}$$

- Absorción (Ab)

$$A_b(\%) = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

Donde:

*A = Peso de muestra seca en el aire, gramos*

*B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos*

*C = Peso en el agua de la muestra saturada*

**Figura 10**

*Pesaje del material sumergido en agua, muestra saturada*



*Nota.* Uso de malla de alambre y balde para pesaje de agregado grueso sumergido.

**Figura 11**

*Pesaje de la muestra saturada con superficie seca*



*Nota.* Pesaje de agregado grueso en estado Saturado con superficie Seca.

**Tabla 14***Peso específico y Absorción del agregado grueso*

<b>Datos</b>	<b>Promedio de pesos (gr)</b>
A: Peso de la muestra seca	3305.50
B: Peso de la muestra saturada con superficie seca	3342.50
C: Peso sumergido en agua de la muestra saturada	2065.50
<i>Peso específico aparente</i>	2.666 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Peso específico saturado superficie seca (SSS)</i>	2.617 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Peso específico de masa seca</i>	2.588 gr/cm <sup>3</sup>
<i>Absorción</i>	1.12 %

*Nota.* Pesos de la muestra de agregado grueso y resultados de peso específico y absorción.

**4.5.6. Peso unitario y vacíos de los agregados:**

- Se inició el procedimiento calibrando el recipiente cilíndrico metálico para determinar su volumen con precisión. Luego, se obtuvo una muestra representativa de agregado y se secó en un horno durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante. Una vez enfriada a temperatura ambiente, se preparó la muestra para realizar dos mediciones: una en condición suelta y otra en condición compactada.
- Para determinar el peso unitario suelto, el material se vertió en el molde cilíndrico hasta el ras, asegurando una superficie nivelada antes de registrar el peso del recipiente con el material. En la medición del peso unitario compactado, el llenado del molde se realizó en tres capas, aplicando 25 golpes con una varilla compactadora de 16 mm en cada capa sin afectar la anterior. Finalmente, se niveló la superficie y se registró el peso total del conjunto para su análisis.

Figura 12

Ensayo de peso unitario y vacíos en el agregado fino



Nota. En la imagen del lado izquierdo se muestra el pesaje del agregado suelto, y en el lado derecho el del agregado compactado.

Tabla 15

Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos del agregado fino

Datos	Promedio de resultados
Peso de la muestra suelta	4943.00 gr
Volumen del recipiente	3183.59 cm <sup>3</sup>
<i>Peso unitario suelto del agregado</i>	1552.34 kg/m <sup>3</sup>
A: Peso específico aparente	2.71 gr/cm <sup>3</sup>
B: peso unitario suelto	1552.34 kg/m <sup>3</sup>
W: peso específico del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
<i>Porcentaje de vacíos</i>	42.65 %

Nota. Pesos de las muestras de agregado fino suelto y resultados de los ensayos de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos.

Tabla 16

*Peso unitario compacto y porcentaje de vacíos del agregado fino*

Datos	Promedio de resultados
Peso de la muestra compacto	5699.50 gr
Volumen del recipiente	3183.59 cm <sup>3</sup>
<i>Peso unitario compacto del agregado</i>	1790.28 kg/m <sup>3</sup>
A: Peso específico aparente	2.71 gr/cm <sup>3</sup>
B: peso unitario compacto	1790.28 kg/m <sup>3</sup>
W: peso específico del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
<i>Porcentaje de vacíos</i>	33.86 %

Nota. Pesos de las muestras de agregado fino compacto y resultados de los ensayos de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos.

Figura 13

*Ensayo de peso unitario y vacíos en el agregado grueso*



Nota. En la imagen del lado izquierdo se muestra el pesaje del agregado suelto, y en el lado derecho el del agregado compactado.

**Tabla 17***Peso unitario suelto y porcentaje de vacíos del agregado grueso*

<b>Datos</b>	<b>Promedio de resultados</b>
Peso de la muestra suelta	14539.00 gr
Volumen del recipiente	10288.98 cm <sup>3</sup>
<i>Peso unitario suelto del agregado</i>	1413.07 kg/m <sup>3</sup>
A: Peso específico aparente	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
B: peso unitario suelto	1413.07 kg/m <sup>3</sup>
W: peso específico del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
<i>Porcentaje de vacios</i>	46.99 %

Nota. Pesos de las muestras de agregado grueso suelto y resultados de los ensayos de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos.

**Tabla 18***Peso unitario compacto y porcentaje de vacíos del agregado grueso*

<b>Datos</b>	<b>Promedio de resultados</b>
Peso de la muestra compacto	16289.00 gr
Volumen del recipiente	10288.98 cm <sup>3</sup>
<i>Peso unitario compacto del agregado</i>	1583.15 kg/m <sup>3</sup>
A: Peso específico aparente	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
B: peso unitario compacto	1583.15 kg/m <sup>3</sup>
W: peso específico del agua	1000 kg/m <sup>3</sup>
<i>Porcentaje de vacios</i>	40.61 %

Nota. Pesos de las muestras de agregado grueso COMPACTO y resultados de los ensayos de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos

#### **4.5.7. Diseño de mezcla por la norma ACI 211**

El método de diseño de mezclas de concreto según la norma ACI 211.1-91 del American Concrete Institute (ACI) es ampliamente utilizado y reconocido en la industria. Este procedimiento garantiza que la mezcla diseñada cumpla con los parámetros de resistencia, trabajabilidad y durabilidad requeridos para un proyecto en particular.

- Se definen las especificaciones del concreto a diseñar.

**Tabla 19***Especificaciones del Concreto de diseño*

Especificaciones del Concreto de Diseño	
Resistencia a la compresión F <sup>c</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>
Slump	3 pulgadas
Aire incorporado	Si
Consistencia	Plástica

*Nota.* Especificaciones del concreto de diseño.

**Tabla 20***Características del cemento*

Características del cemento	
Marca	Yura
Tipo	HS
Peso específico	2.76 g/cm <sup>3</sup>

*Nota.* Datos del cemento tipo HS. Fuente: Ficha Técnica del fabricante (YURA S.A., 2024).

**Tabla 21***Propiedades de los Materiales usados*

Materiales	P.e g/cm <sup>3</sup>	% Hum.	% Abs.	P.U.c kg	P.U.s
Agua	1.000	-----	-----	-----	-----
Cemento	2.750	-----	-----	-----	-----
A. Grueso	2.617	0.31	1.12	1583.15	1413.07
A. Fino	2.580	3.81	2.96	1790.28	1552.34

*Nota.* Propiedades de los agregados obtenidos de los ensayos realizados.

**4.5.7.1. Selección del slump (asentamiento):**

El asentamiento o slump es una medida de la trabajabilidad del concreto. Dependiendo del tipo de construcción (por ejemplo, losas, columnas, pavimentos) y las condiciones de colocación, se selecciona un rango adecuado de slump. Esta investigación está orientada

a las estructuras que están más propensas a la exposición a Sulfatos que son las zapatas o cimentaciones.

**Tabla 22**

*Asentamiento según tipo de estructura*

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Slump max.</b>	<b>Slump min.</b>
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples, calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciplepeo	2"	1"

*Nota.* Extracto de “ACI 211.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”. Fuente: (ACI, 2022)

**Tabla 23**

*Consistencia y asentamiento*

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento</b>
Seca	0" a 2"
Plástica	3" a 4"
Fluida	≥ 5"

*Nota.* Extracto de “ACI 211.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”. Fuente: (ACI, 2022)

Para esta investigación se diseñó con un slump de 3", consistencia plástica.

#### **4.5.7.2. Resistencia promedio del Concreto**

Se utiliza la siguiente tabla debido a la falta de un registro de resultados de ensayos que permita calcular la desviación estándar.

**Tabla 24***Resistencia a la compresión promedio*

<b>F'c especificada, Mpa</b>	<b>F'cr promedio, Mpa</b>
< 21	F'c+7.0
21 a 35	F'c+8.5
> 35	1.1F'c+5.0

*Nota.* Extracto de “Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E 0.60”. Fuente: (R.N.E E.060, 2009)

La resistencia promedio requerida es:

$$210 + 85 = 295 \text{ kg/cm}^2$$

#### **4.5.7.3. Selección del tamaño máximo del agregado**

El tamaño máximo nominal del agregado depende del tipo de estructura y el espaciamiento de las barras de refuerzo. En este caso el Tamaño Máximo Nominal es de **3/4"**.

#### **4.5.7.4. Determinación del contenido de agua y del aire incluido**

Se seleccionó el contenido de agua de la mezcla en base al tamaño máximo del agregado y el slump requerido. El contenido de agua también puede ajustarse si se requiere que el concreto incluya aire. En ambientes donde el concreto está expuesto a ciclos de congelación-descongelación o sulfatos, se recomienda utilizar concreto con aire incluido. La norma E.060 proporciona tablas que relacionan el contenido de aire con el tamaño máximo del agregado.

**Tabla 25**

*Contenido de aire para concreto resistente al congelamiento*

TMN del A.G	Contenido de aire (en porcentaje)	
	Exposición severa al congelamiento	Exposición moderada al congelamiento
3/8"	7.5	6.0
1/2"	7.0	5.5
3/4"	6.0	5.0
1"	6.0	4.5
1 1/2"	5.5	4.5
2"	5.0	4.0

*Nota.* Extracto de "Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E 0.60". Fuente: (R.N.E E.060, 2009)

Por tanto, para un TMN de 3/4" con exposición moderada al congelamiento (zonas altoandinas) se tiene:

$$\text{Contenido de aire} = 5\% = 0.050 \text{ m}^3$$

**Tabla 26**

*Selección de volumen de agua por metro cúbico*

Revenimiento	Tamaño Máximo Nominal							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	<b>Concreto con aire incorporado</b>							
1" – 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" – 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" – 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

*Nota.* Extracto de "ACI 211.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete". Fuente: (ACI, 2022)

$$\text{Contenido de agua por m}^3 = 184 \text{ L} = 0.184 \text{ m}^3$$

#### 4.5.7.5. Selección de la relación agua-cemento (a/c)

La relación agua-cemento (a/c) se seleccionó en función de la resistencia a compresión deseada ( $f'c$ ) y las condiciones de exposición del concreto. Para condiciones de exposición severa, como en ambientes con sulfatos o ciclos de congelación-descongelación, se limita la relación a/c para mejorar la durabilidad.

**Tabla 27**

*Relación agua/cemento en relación con la resistencia a la compresión*

Relación agua/cemento en peso	Resistencia probable a compresión a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	
	sin aire incorporado	con aire incorporado
0.35	420	335
0.44	350	280
0.53	280	225
0.62	225	180
0.71	275	140
0.80	140	110

*Nota.* Extracto de “ACI 211.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete”. Fuente: (ACI, 2022)

según la tabla 27, se interpoló para una resistencia requerida de 295 kg/cm<sup>2</sup>, y considerando que contiene aire incorporado.

0.35	335
x	295
0.44	280

$$x = 0.44 + \frac{(295 - 280)(0.35 - 0.44)}{335 - 280}$$

$$x = 0.42$$

La relación agua cemento según la tabla 27, la cual se basa en la norma ACI 211 es de 0.42.

**Tabla 28**

*Relación agua/cemento para concreto sometido a exposición severa*

Exposición a Sulfatos	Sulfato en el agua, ppm	Relación máxima de agua/cemento
Insignificante	$0 \leq SO_4 < 150$	-
Moderada	$150 \leq SO_4 < 1500$	0.5
Severa	$1500 \leq SO_4 < 10000$	0.45
Muy Severa	$10000 < SO_4$	0.45

*Nota.* Extracto de “Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E 0.60”. Fuente: (R.N.E E.060, 2009)

La norma E.60 del Reglamento Nacional de Edificaciones nos indica que, para estructuras con exposición severa o muy severa a sulfatos, la relación máxima de agua cemento es de 0.45, por tanto, trabajamos con el valor anteriormente calculado de **0.42**.

#### **4.5.7.6. Determinación del contenido de cemento**

Una vez seleccionada la relación  $a/c$ , se calculó el contenido de cemento dividiendo el contenido de agua por la relación  $a/c$ . El contenido de cemento no solo debe cumplir con la relación  $a/c$  para obtener la resistencia requerida, sino también satisfacer los requisitos mínimos de durabilidad establecidos por el ACI.

$$C = \frac{A}{a/c} = \frac{\text{Volumen de agua por metro cúbico de concreto}}{\text{Relación agua cemento}}$$

$$C = \frac{184}{0.42}$$

$$C = 438.1 \text{ kg}$$

$$C = \frac{408.9 \text{ kg}}{2750 \text{ kg/m}^3} = 0.159 \text{ m}^3$$

#### **4.5.7.7. Determinación del volumen de agregado grueso**

El volumen de agregado grueso se calculó en función del tamaño máximo del agregado y el módulo de finesa de la arena.

Tabla 29

Volumen de agregado grueso en relación con el TMN y módulo de finesa

Tamaño máximo nominal	Volumen de agregado grueso por metro cúbico de hormigón para diferentes MF, arena			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72

Nota. Extracto de "ACI 211.1 Standart Practice for Selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete". Fuente: (ACI, 2022)

El módulo de finesa de la arena es 3.06, por tanto, se procedió a extrapolar

2.8	0.62
3.0	0.60
3.06	x

$$\frac{3.06 - 3.0}{x - 0.60} = \frac{3.0 - 2.8}{0.60 - 0.62}$$

$$\frac{0.06}{x - 0.60} = \frac{0.2}{-0.02}$$

$$0.06 = -10 * (x - 0.6)$$

$$10x = 5.94$$

$$x = 0.594$$

Para un módulo de finesa de 3.06 y un TMN de 3/4", el volumen de agregado grueso es **0.594 m<sup>3</sup>**.

$$\text{Peso seco de A. G} = \text{Vol m}^3 \times \text{Peso unitario compacto kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco de A. G} = 0.594 \text{ m}^3 \times 1583.15 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso seco de A. G} = \mathbf{940.39 \text{ kg}}$$

$$\text{Volumen de A. G} = \frac{940.39 \text{ kg}}{2617 \text{ kg/m}^3} = \mathbf{0.359 \text{ m}^3}$$

#### 4.5.7.8. Determinación del volumen de agregado fino

El volumen de agregado fino (arena) se calcula por diferencia, después de haber determinado los volúmenes de cemento, agua y agregado grueso. A continuación, se describe el cálculo del Volumen de agregado fino

**Tabla 30**

*Volúmenes Absolutos*

<b>Material</b>	<b>Volumen m<sup>3</sup></b>
Cemento	0.159
Agua	0.184
Aire	0.050
Agregado grueso	0.359
<b>TOTAL</b>	<b>0.752</b>

*Nota.* Resumen de volúmenes obtenidos del cemento, agua, aire y agregado grueso.

La suma de volúmenes de materiales hasta el momento es de 0.77, por tanto:

$$\text{Volumen de A.F} = 1 \text{ m}^3 - 0.752 \text{ m}^3 = \mathbf{0.248 \text{ m}^3}$$

$$\text{Peso de A.F} = 2580 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.248 \text{ m}^3 = \mathbf{639.661 \text{ kg}}$$

#### 4.5.7.9. Corrección por humedad y Absorción

Por el contenido de agua y la capacidad de absorción de los agregados, es necesario establecer una proporción adecuada de agua.

$$\text{Peso Corregido} = (1 + \% \text{contenido de humedad}) \times \text{peso seco}$$

$$\text{Peso Corregido de agregado fino} = \mathbf{664.032 \text{ kg}}$$

$$\text{Peso Corregido de agregado grueso} = \mathbf{943.306 \text{ kg}}$$

*Agua Final*

$$= \text{Peso Abs. (H}_2\text{O)} - (\text{Contribución H}_2\text{O Agreg. Grueso} - \text{Contribución H}_2\text{O Agreg. Fino})$$

$$\text{Peso Corregido de agua} = \mathbf{186.193 \text{ kg}}$$

**Tabla 31**

*Tabla resumen del diseño de mezclas por el método ACI 211*

	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para	Para una bolsa de cemento
	Seco	Húmedo			45.0 [It]	
Agua	184.00	186.19	0.42	0.186	8.4	18.1
Cemento	438.10	438.10	1	0.159	19.7	42.5
Grava	940.39	943.31	2.15	0.360	42.4	91.5
Arena	639.66	664.03	1.51	0.257	29.9	64.4

*Nota.* Dosificación para la elaboración del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>

#### **4.5.7.10. Adición de aditivo**

Dado que la norma ACI 211 no contempla la incorporación de aditivos, se utilizará como referencia el método Walker para el procedimiento de adición de aditivos. Sin embargo, no se modificarán los porcentajes de agregado grueso y fino obtenidos mediante el método ACI 211.

Considerando que el proyecto se desarrolla en zonas altoandinas de la región del Cusco, donde las temperaturas pueden descender por debajo de los 0°C en distintas áreas y épocas del año, la norma peruana E.060 (2009) exige incorporar hasta un 5% de aire en el concreto, según lo indicado en la Tabla 3. Por lo tanto, tomando en cuenta esta variable interviniente, se empleó el aditivo *Sika® Aer* para el diseño de mezclas con aire incorporado.

**Tabla 32**

*Características del aditivo incorporador de aire*

Características del aditivo	
Marca	Sika
Tipo	Incorporador de aire
Peso específico	1.015 kg/L
Dosis	0.1% por peso de cemento

*Nota.* Fuente: Ficha Técnica del fabricante (SIKA PERÚ S.A., 2013)

Para los grupos experimentales, que evaluarán la eficacia de los aditivos impermeabilizantes frente al ataque de sulfatos, se utilizó el aditivo impermeabilizante *Sika®Cem Impermeable*.

**Tabla 33**

*Características del aditivo impermeabilizante*

Características del aditivo	
Marca	Sika
Tipo	Impermeabilizante
Peso específico	1,02 kg/L
Dosis	Entre 400 a 1200 ml por bolsa de cemento

*Nota.* Fuente: Ficha Técnica del fabricante (SIKA PERÚ S.A., 2013)

**Tabla 34**

*Cantidad de agregados expresados en porcentajes*

Material	Peso kg/m <sup>3</sup>	Porcentaje
Agregado grueso	940.39	40.5%
Agregado fino	639.66	59.5%
<b>TOTAL</b>	<b>1580.05</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Porcentajes de agregado fino y grueso obtenidos.

- **Cálculo de cantidad de aditivo incorporador de aire**

*Dosis de incorporador de aire = 0.1% \* peso del cemento*

*Peso de incorporador de aire = 0.1% \* 408.9 kg = 0.409 kg/m<sup>3</sup>*

*Volumen de incorporador de aire = 0.409  $\frac{kg}{m^3}$  \* 1.015  $\frac{kg}{L}$  = 0.000403 m<sup>3</sup>*

- **Cálculo de cantidad de aditivo impermeabilizante**

<i>Dosis de impermeabilizante</i>	400ml	800ml	1200ml
<i>Porcentaje = <math>\frac{dosis (ml)}{1000} * \frac{p.e}{42.5}</math></i>	0.96%	1.92%	2.88%
<i>Peso = % adit.* peso cemento kg</i>	4.206 kg/m <sup>3</sup>	8.411 kg/m <sup>3</sup>	12.617 kg/m <sup>3</sup>

$Volumen = Cantidad * p.e$	0.00412 m3	0.00825 m3	0.0124 m3
----------------------------	------------	------------	-----------

Posteriormente se calcula el Volumen de la Pasta cementante el cual varía según la cantidad de aditivo impermeabilizante.

$$V \text{ Pasta} = V_{\text{agua}} + V_{\text{cemento}} + V_{\text{aire}} + V_{\text{inc.de aire}} + V_{\text{impermeabilizante}}$$

Se calcula la cantidad de agregado fino y grueso por diferencia ( $1 - V \text{ Pasta}$ ), y distribuyendo porcentualmente las cantidades de agregados en conformidad con la tabla 30. Finalmente se realiza las correcciones por humedad y absorción para obtener las dosificaciones finales.

#### 4.5.7.11. Dosificaciones finales

**Tabla 35**

*Dosificación del concreto patrón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Material	m3	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para una bolsa de cemento kg
		Seco	Húmedo			
Agua	0.184	184.00	186.28	0.43	0.186	18.1
Cemento	0.159	438.10	438.10	1	0.159	42.5
Aire	0.050	50.00				
inc. De aire	0.000	0.44	0.44		0.432	0.04
Impermeab	0.000	0.00	0.00		0.000	0.00
Grava	0.361	945.18	948.11	2.16	0.362	92.0
Arena	0.246	633.83	657.98	1.50	0.255	63.8
<b>V Pasta</b>	<b>0.393</b>					
<b>Total</b>	<b>1.00</b>					

*Nota.* Tabla de dosificación del concreto patrón

**Tabla 36**

*Dosificación del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con 400 ml de aditivo impermeabilizante*

Material	m3	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para una bolsa de cemento kg
		Seco	Húmedo			
Agua	0.184	184.00	186.27	0.43	0.186	18.1
Cemento	0.159	438.10	438.10	1	0.159	42.5
Aire	0.050	50.00				
inc. De aire	0.000	0.44	0.44		0.432	0.04
Impermeab	0.004	4.21	4.21		9.600	0.41
Grava	0.359	938.76	941.67	2.15	0.360	91.4
Arena	0.244	629.52	653.51	1.49	0.253	63.4
<b>V Pasta</b>	<b>0.397</b>					
<b>Total</b>	<b>1.00</b>					

*Nota.* Tabla de dosificación del concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante

**Tabla 37**

*Dosificación concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con 800 ml de aditivo impermeabilizante*

Material	m3	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para una bolsa de cemento kg
		Seco	Húmedo			
Agua	0.184	184.00	186.25	0.43	0.186	18.1
Cemento	0.159	438.10	438.10	1	0.159	42.5
Aire	0.050	50.00				
inc. De aire	0.000	0.44	0.44		0.432	0.04
Impermeab	0.008	8.41	8.41		19.200	0.82
Grava	0.356	932.33	935.22	2.13	0.357	90.7
Arena	0.242	625.21	649.03	1.48	0.252	63.0
<b>V Pasta</b>	<b>0.401</b>					
<b>Total</b>	<b>1.00</b>					

*Nota.* Tabla de dosificación del concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante

**Tabla 38**

*Dosificación concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con 1200 ml de aditivo impermeabilizante*

Material	m3	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para una bolsa de cemento kg
		Seco	Húmedo			
Agua	0.184	184.00	186.23	0.43	0.186	18.1
Cemento	0.159	438.10	438.10	1	0.159	42.5
Aire	0.050	50.00				
inc. De aire	0.000	0.44	0.44		0.432	0.04
Impermeab	0.012	12.62	12.62		28.800	1.22
Grava	0.354	925.89	928.76	2.12	0.355	90.1
Arena	0.240	619.44	643.05	1.47	0.249	62.5
<b>V Pasta</b>	<b>0.406</b>					
<b>Total</b>	<b>1.00</b>					

*Nota.* Tabla de dosificación del concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante

Así mismo se muestra la dosificación obtenida con el cemento tipo IP.

**Tabla 39**

*Características del cemento*

Características del cemento	
Marca	Yura
Tipo	IP
Peso específico	2.75 g/cm <sup>3</sup>

*Nota.* Datos del cemento tipo IP. Fuente: Ficha Técnica del fabricante (YURA S.A., 2024).

**Tabla 40**

*Dosificación concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> elaborado con cemento tipo IP*

Material	m <sup>3</sup>	Por peso p/1 m <sup>3</sup> [H°]		Relación	Por volumen p/1 m <sup>3</sup> [H°]	Para una bolsa de cemento kg
		Seco	Húmedo			
Agua	0.184	184.00	186.23	0.43	0.186	18.1
Cemento	0.159	438.10	438.10	1	0.159	42.5
Aire	0.050	50.00				
inc. De aire	0.000	0.44	0.44		0.432	0.04
Impermeab	0.012	12.62	12.62		28.800	1.22
Grava	0.361	945.17	948.10	2.16	0.362	92.0
Arena	0.245	632.35	656.44	1.50	0.254	63.7
<b>V Pasta</b>	<b>0.394</b>					
<b>Total</b>	<b>1.00</b>					

*Nota.* Tabla de dosificación del concreto elaborado con cemento tipo IP

#### **4.5.8. Preparación de la mezcla del concreto:**

Antes de iniciar el mezclado de concreto, se verificó que los equipos y materiales estuvieran en óptimas condiciones. Se empleó la dosificación diseñada según los métodos ACI, asegurando la precisión en la cantidad de agregados, cemento, agua y aditivo. Para evitar la absorción de agua por la mezcladora, se añadió previamente una cantidad mínima antes de incorporar los materiales, midiendo el agua en un recipiente graduado.

El mezclado se realizó de manera controlada durante un tiempo de 2 a 5 minutos para garantizar una mezcla homogénea y uniforme. Posteriormente, el concreto fue vertido en las briqueteras, compactándolo adecuadamente para evitar vacíos o defectos en las probetas. Se midieron con precisión las cantidades de aditivo según el diseño de mezcla establecido, asegurando su correcta distribución en cada tanda de probetas. En total, se fabricaron 216 briquetas, las cuales fueron organizadas en 10 grupos de acuerdo con la disponibilidad de las briqueteras y las especificaciones de cada ensayo.

**Tabla 41***Representación de los grupos que conforman la muestra en estudio*

	<b>Grupo</b>	<b>Descripción</b>	<b>N° de Briquetas</b>
	Grupo 1	Concreto patrón	24 briquetas
Muestras no expuestas a Sulfatos	Grupo 2	Briquetas con 400 ml de aditivo impermeabilizante	24 briquetas
	Grupo 3	Briquetas con 800 ml de aditivo impermeabilizante	24 briquetas
	Grupo 4	Briquetas con 1200 ml de aditivo impermeabilizante	24 briquetas
Muestras expuestas a Sulfatos	Grupo 5	Briquetas sin aditivo impermeabilizante expuestas a una solución de Sulfato de Amonio a 10,000ppm	24 briquetas
	Grupo 6	Briquetas con 400 ml de aditivo impermeabilizante expuestas a una solución de Sulfato de Amonio a 10,000ppm	24 briquetas
	Grupo 7	Briquetas con 400 ml de aditivo impermeabilizante expuestas a una solución de Sulfato de Amonio a 10,000ppm	24 briquetas
	Grupo 8	Briquetas con 400 ml de aditivo impermeabilizante expuestas a una solución de Sulfato de Amonio a 10,000ppm	24 briquetas
Muestras elaboradas con cemento portland IP	Grupo 9	Briquetas elaboradas con cemento portland tipo IP	12 briquetas
	Grupo 10	Briquetas elaboradas con cemento portland tipo IP expuestas a sulfatos	12 briquetas

*Nota.* Grupos experimentales de la investigación

**Figura 14**

*Preparación de concreto en mezcladora*



*Nota.* En la imagen se muestra la elaboración del concreto en mezcladora mecánica.

**Figura 15**

*Armado de briquetas*



*Nota.* Colocación del concreto en los moldes, y acabado final de estas.

#### **4.5.9. Medición de la Consistencia del Concreto:**

El procedimiento de medición del slump (asentamiento del concreto) según la norma ASTM C143/C143M es una prueba estandarizada utilizada para determinar la consistencia del concreto fresco. El asentamiento es una medida indirecta de la trabajabilidad del concreto y se refiere a la cantidad que el concreto se desploma o "se asienta" tras ser colocado en un cono de Abrams y retirado.

- Se obtiene una muestra representativa del concreto fresco a ser evaluado. El concreto debe ser homogéneo y estar libre de segregación. Antes de realizar el ensayo, la muestra debe ser mezclada ligeramente para asegurarse de que esté en estado uniforme.
- Se colocó el cono de Abrams sobre una superficie rígida, plana y no absorbente que esté limpia y nivelada. El cono debe estar firmemente sujeto durante el llenado para evitar que se desplace o mueva.
- El cono se llena con concreto en tres capas de aproximadamente el mismo volumen. La primera capa se llenó hasta un tercio de su altura (aproximadamente 70 mm de altura). La segunda capa se llenó hasta los dos tercios de su altura (aproximadamente 160 mm de altura). Finalmente, la tercera capa se llenó hasta el borde superior.
- Cada capa de concreto se compactó usando la varilla de compactación para asegurar una densidad uniforme en todo el cono. La primera capa se apisonó con 25 golpes uniformemente distribuidos a través de toda la sección transversal. Para la segunda capa se aplica la misma cantidad de 25 golpes, esta vez penetrando ligeramente la capa inferior para asegurar una buena cohesión entre capas. Finalmente, la tercera capa también se aplican 25 golpes, pero solo se penetra en la segunda capa.
- Después de llenar el cono completamente, se raspó el exceso de concreto de la parte superior del cono utilizando una varilla o espátula metálica, nivelando

la superficie para que esté completamente plana con el borde superior del molde.

- Se levantó el cono de manera vertical y lenta en un tiempo de 5 a 10 segundos de manera continua y sin movimientos laterales. Esto permite que el concreto se asiente bajo su propio peso. Es importante no mover el cono de lado a lado o hacia arriba y hacia abajo durante este proceso para evitar alterar los resultados.
- Inmediatamente después de retirar el cono, se mide la diferencia entre la altura del cono y la altura del concreto asentado. Se colocó la varilla de compactación horizontalmente sobre el borde superior del cono original, y se midió desde la base de la varilla hasta el punto más alto del concreto asentado utilizando una cinta métrica.
- Esta diferencia de altura es el slump o asentamiento del concreto, que se expresa en milímetros o pulgadas.

### Figura 16

*Evaluación de la consistencia del concreto.*



*Nota.* Medición del Slump con el ensayo del cono de Abrams.

#### 4.5.10. **Preparación de solución de sulfatos:**

Se preparó una solución de sulfato de amonio con una concentración de 10,000 ppm (partes por millón). Para lograr esta concentración, dado que el sulfato de amonio se encuentra a una concentración del 24% en el producto industrial, se disolvieron 50 gramos del producto en un litro de agua destilada. Una vez disuelto completamente, se ajustó el volumen de la solución para alcanzar la concentración exacta de 10,000 ppm.

**Tabla 42**

*Características del Sulfato de amonio*

<b>Características del sulfato de Amonio</b>	
Marca	Romero
Nombre Químico	Sulfato de Amonio
Fórmula Química	$(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$
Peso molecular	132 g/mol
Cantidad de Nitrógeno	21%
Cantidad de Azufre	24%
Apariencia	Cristales
Color	Blanco
Soluble	Agua

*Nota.* Datos técnicos del Sulfato de Amonio. Fuente: Ficha Técnica del fabricante (Romero Fertilizantes, 2023)

#### 4.5.11. **Curado de briquetas de concreto:**

- Curado inicial de las probetas una vez que se vertió el concreto en los moldes, las probetas se curaron en ambiente controlado (temperatura y humedad) durante un período de 24 horas.
- Para desmoldar las briquetas de concreto, se calentó el molde con agua hirviendo. Esto permite dilatar el molde de plástico y facilita la extracción de la muestra.
- Después de llevar a cabo el desmolde con gran cuidado, se etiquetaron los especímenes utilizando un marcador indeleble o un corrector líquido. Luego, se

sumergieron cuidadosamente en los lavatorios con agua, donde permanecieron hasta 60 días. Es importante mencionar que se tomaron muestras a los 7, 14, 28 y 60 días para realizar ensayos de compresión.

### Figura 17

*Medición de la cantidad de sulfato de amonio*



*Nota.* Pesaje del sulfato de amonio a mezclar con el agua de curado.

### Figura 18

*Proceso de desencofrado de las briquetas*



*Nota.* En la figura se observa el proceso de desencofrado de las briquetas de concreto, donde se rocían con agua caliente para facilitar su extracción mediante la dilatación del molde.

- La mitad de las muestras fueron completamente sumergidas en una solución de sulfato de amonio a 10,000 ppm, preparada previamente, inmediatamente después de su extracción del molde. Permanecieron en esta solución durante un período de 60 días para simular condiciones de exposición a sulfatos desde la etapa de curado. Además, el curado se llevó a cabo a temperatura ambiente, replicando las condiciones térmicas de las zonas altoandinas.
- Durante el período de inmersión, se realizaron evaluaciones periódicas de las probetas para analizar los efectos del ataque por sulfatos sobre las propiedades mecánicas del concreto. Estas evaluaciones incluirán pruebas de resistencia a la compresión, observación de posibles fisuras o desprendimientos en la superficie del concreto.
- Posteriormente al proceso de curado se procedió a realizar una comparación entre las probetas sometidas a la solución de sulfato de amonio y probetas no expuestas, con el fin de determinar el grado de deterioro y la capacidad del concreto para resistir el ataque químico.

### Figura 19

*Identificación de las muestras en estudio*



*Nota.* En el recipiente rojo del grupo de la derecha se encuentra el sulfato diluido en agua, mientras que el recipiente azul no contiene sulfatos.

Las muestras elaboradas con cemento tipo IP fueron curadas siguiendo el método de curado acelerado con agua hirviendo, de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 339.213. Esta técnica permite evaluar la resistencia a edades tempranas y optimizar el control de calidad del concreto.

#### 4.5.12. **Ensayo de resistencia a la compresión:**

Se realizaron pruebas de compresión a los 7, 14, 28 y 60 días utilizando una máquina de compresión hidráulica con una capacidad de 2000 kN. Los valores obtenidos se registraron para su análisis posterior.

**Figura 20**

*Ensayo de Resistencia a la compresión*



*Nota.* Rotura de briqueta en la máquina de compresión uniaxial.

#### 4.5.13. **Evaluación de la degradación física**

Se evaluó la pérdida de masa y se inspeccionaron las muestras para detectar fisuras o desintegración al finalizar el periodo de exposición.

## Figura 21

*Medición y recopilación de datos de probetas*



*Nota.* Medición del diámetro, altura y peso de los especímenes.

## Figura 22

*Evaluación visual de los efectos sobre el concreto antes de la rotura*



*Nota.* Briquetas de concreto  $f'c$  210 kg/cm con 400 ml de aditivo impermeabilizante antes de la rotura

Se puede observar que todas las muestras expuestas a sulfatos presentan una capa de sal sobre su superficie, la cual se manifiesta como un pigmento blanquecino y brillante (briquetas parte superior de la figura 4).

## Figura 23

*Evaluación visual de los efectos sobre el concreto después de la rotura*



*Nota.* Muestra patrón después de la rotura, ensayada a los 60 días de exposición a sulfato.

En el concreto patrón que estuvo expuesto a sulfatos durante 60 días, se puede evidenciar que, tras la rotura, parte de él se desintegró en polvo. Además, dentro del concreto se observa una pigmentación blanca y brillante, lo que indica que los sulfatos han penetrado en la estructura del material.

### 4.6. Análisis de datos

#### 4.6.1. Análisis de resultados del Agregado Grueso

Los valores de peso específico y absorción del agregado grueso de Checacupe indican su idoneidad para la producción de concreto de alta resistencia. El peso específico aparente de  $2.666 \text{ gr/cm}^3$  y el peso específico de masa seca de  $2.588 \text{ gr/cm}^3$  reflejan una composición densa y compacta. Además, el peso específico en estado saturado con superficie seca ( $2.617 \text{ gr/cm}^3$ ) es favorable para controlar la relación agua-cemento, optimizando la trabajabilidad y durabilidad del concreto.

Por otro lado, la absorción del 1.12 % es un valor adecuado, ya que sugiere que el agregado no retiene grandes cantidades de agua, asegurando una mezcla uniforme y consistente.

**Tabla 43**

*Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso*

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso específico aparente	2.666	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente (Saturado con Superficie Seca)	2.617	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa seca	2.588	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	1.12	%

*Nota.* Resultados de peso específico y absorción del agregado grueso obtenidos.

El agregado grueso evaluado presenta un peso unitario suelto de 1413.07 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compacto de 1583.15 kg/m<sup>3</sup>, con porcentajes de vacíos de 46.99 % y 40.61 %, respectivamente. Estos valores indican que el material tiene una densidad moderada en estado suelto y una mayor compactación al reducir los espacios vacíos entre partículas. Un peso unitario más alto sugiere que el agregado es adecuado para aplicaciones estructurales, ya que contribuye a una mezcla más densa y resistente, optimizando el uso de cemento en la mezcla de concreto.

El porcentaje de vacíos del agregado influye en la cantidad de pasta de cemento necesaria para una mezcla homogénea y resistente. Aunque presenta una distribución de vacíos moderada, su capacidad de compactación lo hace adecuado para diversas aplicaciones de concreto. Sin embargo, en proyectos donde se requiere una reducción significativa de vacíos para mejorar la resistencia, podría ser conveniente utilizar agregados con menor porcentaje de vacíos o aplicar técnicas de compactación más eficientes.

**Tabla 44**

*Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso*

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso unitario suelto	1413.07	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compacto	1583.15	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos suelto	46.99	%
Porcentaje de vacíos compacto	40.61	%

*Nota.* Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso.

### **Granulometría**

La granulometría nos indica que el material cumple con las especificaciones técnicas del ASTM, lo cual nos permite utilizarlo.

El Módulo de fineza del agregado grueso es de 6.70, esto indica que el agregado grueso tiene una distribución de tamaño que favorece partículas relativamente grandes. Este valor es típico para agregados gruesos, que suelen tener un MF que varía entre 6.0 y 8.0

**Tabla 45**

*Resumen de los resultados del Agregado Grueso*

Descripción	Resultados
Peso específico de masa (PeSSS)	2.617
Contenido de humedad	0.31 %
Porcentaje de absorción	1.12%
Peso unitario suelto	1413.07kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compacto	1583.15kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos suelto	46.99%
Porcentaje de vacíos compacto	40.61%
Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200	0.87%
Módulo de fineza	6.70
Curva granulométrica	Cumple

*Nota.* Resumen de resultados.

#### 4.6.2. Análisis de resultados del Agregado Fino

La arena gruesa evaluada presenta un peso específico aparente de 2.707 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico en estado saturado con superficie seca (SSS) de 2.580 gr/cm<sup>3</sup>, un peso específico de masa seca de 2.506 gr/cm<sup>3</sup> y una absorción del 2.96 %. Su alta densidad en comparación con otras arenas la hace ideal para aplicaciones estructurales que requieren concreto resistente y duradero. El peso específico SSS permite estimar su capacidad de absorción de agua, indicando que, aunque moderada, puede afectar la trabajabilidad y la proporción agua-cemento en la mezcla.

Sin embargo, la absorción del 2.96 % es relativamente alta, lo que puede influir en el control de la humedad de la mezcla. Esto requiere ajustes en la dosificación de agua para evitar alteraciones en la consistencia del concreto. A pesar de este factor, la elevada densidad y compacidad de esta arena la convierten en una opción adecuada para proyectos exigentes, siempre que se realice un control preciso en la mezcla para optimizar su desempeño en términos de resistencia y durabilidad.

**Tabla 46**

*Resultados de peso específico y absorción del agregado fino*

Descripción	Cantidad	Unidad
Peso específico aparente	2.707	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente (Saturado con Superficie Seca)	2.580	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa seca	2.506	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	2.96	%

*Nota.* Resultados de peso específico y absorción del agregado fino

El agregado de arena gruesa presenta un peso unitario suelto de 1552.34 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compacto de 1790.28 kg/m<sup>3</sup>, con porcentajes de vacíos de 42.65 % en estado suelto y 33.86 % en estado compacto. Su densidad moderada en estado suelto indica una composición granular abierta, lo que implica que requiere una cantidad moderada de pasta de cemento para llenar los vacíos. Sin embargo, al compactarse, su densidad aumenta

significativamente, lo que favorece la estabilidad y resistencia del concreto, haciéndolo adecuado para estructuras de carga pesada o de alta durabilidad.

El porcentaje de vacíos disminuye de manera significativa con la compactación, lo que reduce la cantidad de cemento y agua necesarios en la mezcla, optimizando su rendimiento y resistencia. A pesar de su mayor porcentaje de vacíos en estado suelto en comparación con agregados más densos, su buena capacidad de compactación mejora su desempeño en aplicaciones estructurales. En general, este agregado presenta características favorables para la construcción, aunque requiere un control adecuado en la dosificación de cemento para garantizar una mezcla eficiente y duradera.

**Tabla 47**

*Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Peso unitario suelto	1552.34	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compacto	1790.28	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos suelto	42.65	%
Porcentaje de vacíos compacto	33.86	%

*Nota.* Resultados de peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino

### **Granulometría**

La granulometría muestra que las especificaciones técnicas del ASTM c33, cumple con sus verificaciones y se puede utilizar estos resultados.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, el módulo de fineza (MF) del agregado fino debe situarse entre 2.3 y 3.1. El módulo de fineza (MF) de este agregado es 3.06, lo cual indica que el agregado fino es relativamente grueso, situándose en el límite superior del rango permitido

En resumen, el agregado fino cumple con todas las verificaciones, para poder ser usado como agregado en el concreto.

**Tabla 48***Resumen de resultados del agregado fino*

<b>Descripción</b>	<b>Resultados</b>
Peso específico de masa (PeSSS)	2.580
Contenido de humedad	3.81 %
Porcentaje de absorción	2.96%
Peso unitario suelto	1552.34kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compacto	1790.28kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de vacíos suelto	42.65%
Porcentaje de vacíos compacto	33.86%
Cantidad de material fino que pasa el tamiz Nº 200	3.69%
Módulo de fineza	3.06
Curva granulométrica	Cumple

*Nota.* Resumen de resultados**4.6.3. Análisis de Slump**

El ensayo de asentamiento o *slump test* es uno de los procedimientos más comunes para evaluar la consistencia o trabajabilidad del concreto fresco. Este ensayo está regulado por la norma ASTM C143/C143M-20.

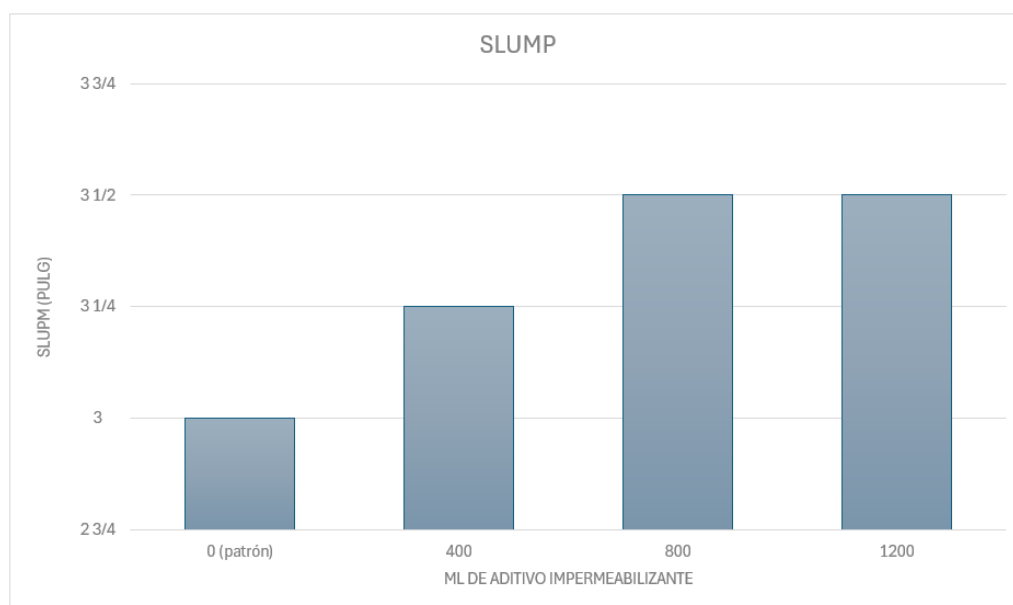
**Tabla****49***Medición del Slump de los grupos de estudio*

Cantidad de Aditivo impermeabilizante (ml)	SLUMP (pulg)
0 (patrón)	3
400	3 1/4
800	3 1/2
1200	3 1/2

*Nota.* Asentamiento en pulgadas medido con el ensayo del Cono de Abrams.

## Figura 24

*Slump en función de la cantidad de Aditivo impermeabilizante en la mezcla de concreto.*



*Nota.* La imagen muestra el pequeño incremento del asentamiento en relación con la cantidad de aditivo impermeabilizante

Se observa que, al aumentar la cantidad de aditivo impermeabilizante, el asentamiento del concreto presenta una ligera tendencia al alza. Desde el valor inicial de **3 pulgadas** en la mezcla patrón (sin aditivo), el asentamiento aumenta progresivamente hasta alcanzar **3 1/2 pulgadas** con 800 ml de aditivo, manteniéndose en este mismo nivel con 1200 ml.

Este comportamiento indica que el aditivo impermeabilizante tiene un leve efecto plastificante, mejorando la fluidez del concreto sin comprometer su estabilidad. Sin embargo, el aumento en el asentamiento no es significativo, lo que sugiere que el aditivo no tiene una función primaria como reductor de agua o superplastificante.

A partir de 800 ml de aditivo, el asentamiento se mantiene en **3 1/2 pulgadas**, lo que sugiere que, en mayores dosis, el efecto del aditivo sobre la trabajabilidad del concreto se estabiliza y no genera cambios sustanciales.

#### **4.6.4. Análisis de Ensayos de Resistencia a la compresión**

El análisis de los resultados obtenidos en ensayos de compresión de probetas de concreto se realizó utilizando herramientas de estadística descriptiva. Inicialmente, se calculó la media aritmética, que es el valor promedio de las resistencias a la compresión obtenidas en las probetas. Este parámetro permite conocer la resistencia promedio del concreto y es fundamental para evaluar su conformidad con los requisitos establecidos en las normativas (ASTM International, 2015). Luego, se calculó la mediana, que es el valor central de los datos cuando estos se ordenan de menor a mayor. La mediana es menos sensible a valores atípicos que la media, por lo que es útil cuando hay variaciones extremas en los resultados de las probetas (Hernández Sampieri et al., 2014).

También se analizó la desviación estándar, que mide la dispersión de los datos en torno a la media. Una desviación estándar baja indica que los resultados de las pruebas de compresión están concentrados cerca del promedio, lo que sugiere un comportamiento uniforme del concreto (Jiménez y Lozano, 2018). Por el contrario, una desviación estándar alta refleja variabilidad significativa en los ensayos, lo que puede indicar inconsistencias en la mezcla, la calidad de los materiales, o la aplicación de los aditivos.

Adicionalmente, el rango (diferencia entre el valor máximo y el mínimo) proporciona información sobre la variabilidad de los resultados. Un rango amplio puede señalar la existencia de probetas con resistencias significativamente mayores o menores que el promedio, lo cual podría requerir una revisión detallada de las condiciones de producción y ensayo (Granados, 2017).

Para completar el análisis, se elaboró un histograma, que permite visualizar la distribución de las resistencias a compresión de las probetas. Esto facilita identificar si los resultados siguen una distribución normal o si existen sesgos o irregularidades en los datos (Neville, 2013).

Tabla 50

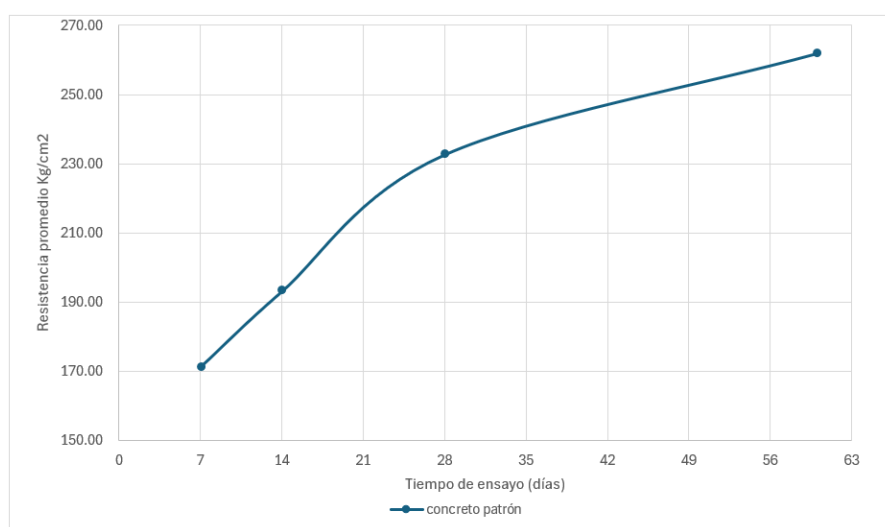
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Concreto Patrón

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	P1-7	10.15	20.30	3770.00	131.86	168.12	170.94	171.23
	P2-7	10.11	20.36	3787.50	136.28	173.76		
	P3-7	10.05	20.25	3769.00	138.57	176.68	174.69	
	P4-7	10.08	20.29	3772.50	135.45	172.70		
	P5-7	10.19	20.50	3780.5	136.89	174.53	168.06	
	P6-7	10.10	20.14	3770.5	126.74	161.59		
14 días	P1-14	10.09	20.38	3772.50	147.27	187.77	186.08	193.05
	P2-14	10.13	20.35	3777.00	144.62	184.39		
	P3-14	10.09	20.15	3774.50	160.61	204.78	200.69	
	P4-14	10.09	20.15	3777.50	154.2	196.61		
	P5-14	10.11	20.19	3780.00	149.98	191.22	192.37	
	P6-14	10.17	20.50	3780.00	151.77	193.51		
28 días	P1-28	10.14	20.15	3770.50	189.34	241.41	238.56	232.53
	P2-28	10.11	20.43	3771.00	184.87	235.71		
	P3-28	10.17	20.46	3779.00	175.21	223.39	232.31	
	P4-28	10.04	20.39	3773.00	189.2	241.23		
	P5-28	10.08	20.28	3771.00	180.23	229.79	226.72	
	P6-28	10.04	20.27	3777.00	175.41	223.65		
60 días	P1-60	10.17	20.49	3770.50	210.78	268.74	264.01	261.73
	P2-60	10.13	20.34	3781.50	203.36	259.28		
	P3-60	10.16	20.28	3775.50	202.01	257.56	261.67	
	P4-60	10.08	20.32	3776.00	208.45	265.77		
	P5-60	10.09	20.29	3776.00	198.56	253.16	259.51	
	P6-60	10.14	20.45	3781.00	208.51	265.85		

Nota. Concreto patrón sin aditivo impermeabilizante ni expuesto a sulfatos.

figura 25

Evolución de la resistencia a compresión-concreto patrón f'c 210 kg/cm<sup>2</sup>



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 51

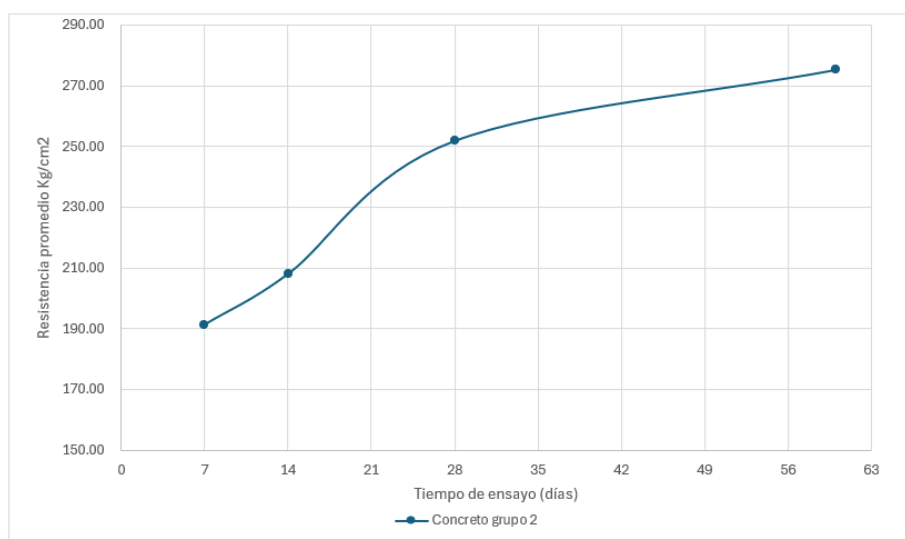
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 2

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom cm	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	400-7-SS	10.12	20.26	3777	153.07	195.16	191.45	191.40
	400-7-SS	10.16	20.47	3779	147.25	187.74		
	400-7-SS	10.14	20.51	3778.5	148.41	189.23	190.62	
	400-7-SS	10.19	20.32	3776	150.60	192.02		
	400-7-SS	10.11	20.32	3783.5	141.90	180.92	192.14	
	400-7-SS	10.14	20.45	3780.5	159.50	203.36		
14 días	400-14-SS	10.14	20.53	3781.5	166.31	212.05	212.98	208.08
	400-14-SS	10.10	20.31	3777.5	167.77	213.90		
	400-14-SS	10.09	20.10	3781	172.66	220.14	216.41	
	400-14-SS	10.12	20.27	3782	166.80	212.67		
	400-14-SS	10.11	20.56	3778.5	160.20	204.26	194.85	
	400-14-SS	10.13	20.38	3782	145.45	185.45		
28 días	400-28-SS	10.08	20.17	3782	195.63	249.43	252.98	251.92
	400-28-SS	10.10	20.32	3783	201.20	256.53		
	400-28-SS	10.14	20.41	3784.5	195.62	249.41	251.41	
	400-28-SS	10.19	20.41	3776	198.75	253.41		
	400-28-SS	10.16	20.51	3777	190.40	242.76	251.37	
	400-28-SS	10.07	20.35	3783	203.90	259.97		
60 días	400-60-SS	10.15	20.20	3777	226.34	288.58	278.55	275.32
	400-60-SS	10.13	20.33	3784.5	210.61	268.53		
	400-60-SS	10.07	20.25	3781.5	223.29	284.69	281.64	
	400-60-SS	10.09	20.13	3781	218.50	278.59		
	400-60-SS	10.10	20.20	3787.5	205.80	262.40	265.77	
	400-60-SS	10.09	20.43	3777.5	211.10	269.15		

Nota. Concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante

figura 26

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 2



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 52

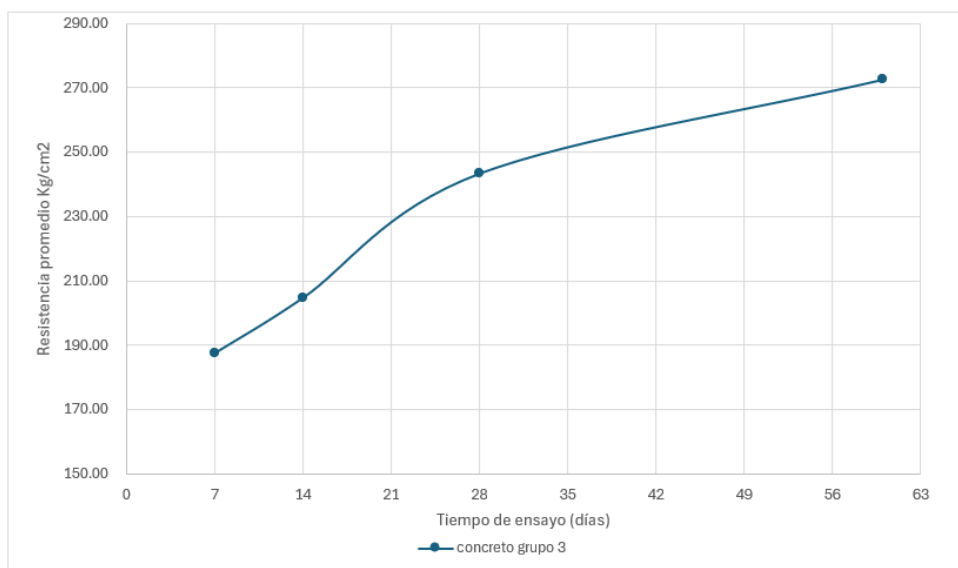
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 3

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom cm	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	800-7-SS	10.05	20.38	3781	144.50	184.24	189.01	187.48
	800-7-SS	10.09	20.12	3776.5	151.99	193.79		
	800-7-SS	10.21	20.38	3786.5	144.22	183.88	186.77	
	800-7-SS	10.14	20.56	3781.5	148.75	189.66		
	800-7-SS	10.18	20.43	3777.5	139.60	177.99	186.66	
	800-7-SS	10.11	20.34	3784	153.20	195.33		
14 días	800-14-SS	10.21	20.28	3779.5	155.95	198.84	200.73	204.72
	800-14-SS	10.13	20.42	3780	158.92	202.63		
	800-14-SS	10.16	20.42	3787.5	166.32	212.06	209.37	
	800-14-SS	10.16	20.56	3779.5	162.10	206.68		
	800-14-SS	10.06	20.26	3778.5	151.30	192.91	204.06	
	800-14-SS	10.18	20.32	3784.5	168.79	215.21		
28 días	800-28-SS	10.11	20.38	3782	186.27	237.49	242.78	243.40
	800-28-SS	10.11	20.49	3787.5	194.56	248.06		
	800-28-SS	10.14	20.44	3782.5	190.87	243.35	244.27	
	800-28-SS	10.05	20.49	3781	192.30	245.18		
	800-28-SS	10.13	20.24	3779.5	183.50	233.96	243.14	
	800-28-SS	10.11	20.41	3778	197.90	252.32		
60 días	800-60-SS	10.06	20.49	3780.5	206.98	263.90	266.29	272.66
	800-60-SS	10.07	20.26	3781	210.73	268.68		
	800-60-SS	10.14	20.09	3785.5	226.85	289.24	281.94	
	800-60-SS	10.07	20.19	3786.5	215.40	274.64		
	800-60-SS	10.15	20.41	3788	202.60	258.32	269.76	
	800-60-SS	10.13	20.28	3776.5	220.55	281.20		

Nota. Concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante.

figura 27

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 3



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 53

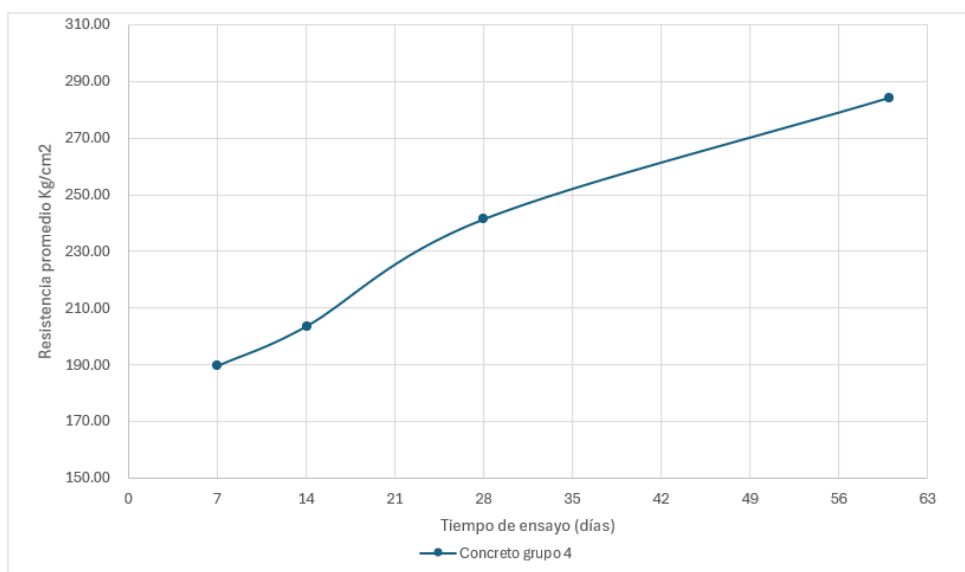
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 4

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	1200-7-SS	10.17	20.36	3776	153.49	195.70	191.61	189.60
	1200-7-SS	10.18	20.13	3782	147.07	187.52		
	1200-7-SS	10.14	20.12	3786.5	141.27	180.12	185.56	
	1200-7-SS	10.16	20.32	3787.5	149.80	191.00		
	1200-7-SS	10.10	20.16	3778.5	143.10	182.45	191.63	
	1200-7-SS	10.13	20.36	3787.5	157.50	200.81		
14 días	1200-14-SS	10.19	20.22	3781.5	162.71	207.46	203.06	203.51
	1200-14-SS	10.14	20.34	3786	155.81	198.66		
	1200-14-SS	10.12	20.14	3776.5	158.40	201.95	207.63	
	1200-14-SS	10.10	20.41	3779	167.30	213.31		
	1200-14-SS	10.09	20.30	3779.5	151.60	193.29	199.86	
	1200-14-SS	10.14	20.33	3788	161.90	206.42		
28 días	1200-28-SS	10.12	20.49	3784	185.31	236.27	238.45	241.35
	1200-28-SS	10.12	20.38	3779	188.73	240.63		
	1200-28-SS	10.08	20.44	3778.5	193.33	246.49	244.50	
	1200-28-SS	10.12	20.54	3781.5	190.20	242.51		
	1200-28-SS	10.16	20.31	3783.5	181.50	231.41	241.10	
	1200-28-SS	10.14	20.24	3786	196.70	250.79		
60 días	1200-60-SS	10.06	20.53	3783.5	220.94	281.69	285.18	284.26
	1200-60-SS	10.15	20.32	3780	226.40	288.66		
	1200-60-SS	10.10	20.30	3778	218.31	278.35	285.22	
	1200-60-SS	10.10	20.32	3782	229.10	292.10		
	1200-60-SS	10.14	20.30	3786.5	212.80	271.32	282.38	
	1200-60-SS	10.10	20.37	3778	230.15	293.44		

Nota. Concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante

figura 28

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 4



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 54

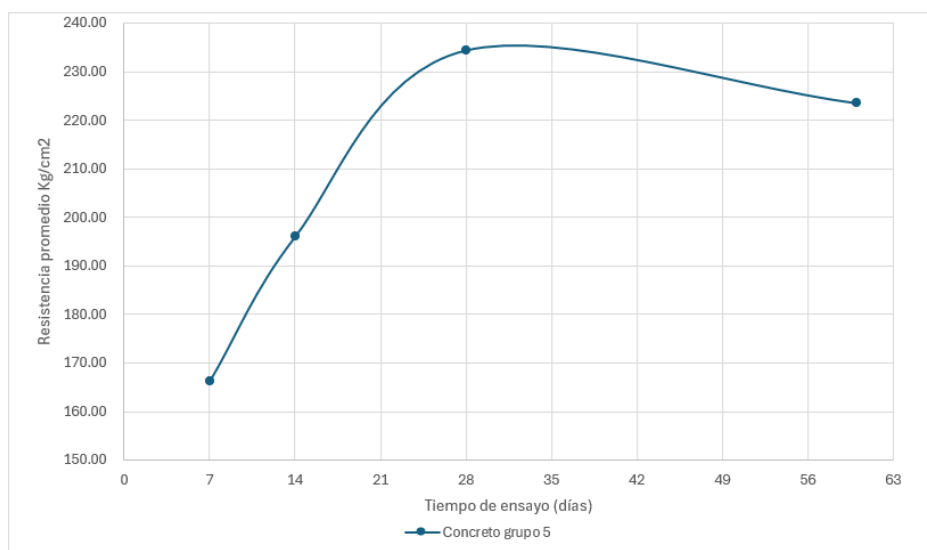
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 5

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	P1-7-CS	10.11	20.24	3783.5	122.63	156.35	160.36	166.21
	P2-7-CS	10.12	20.37	3779.5	128.92	164.37		
	P3-7-CS	10.09	20.26	3777.5	131.95	168.24	169.67	
	P4-7-CS	10.13	20.40	3786	134.20	171.11		
	P5-7-CS	10.14	20.38	3783.5	126.15	160.84	168.59	
	P6-7-CS	10.11	20.47	3777.5	138.30	176.33		
14 días	P1-14-CS	10.06	20.29	3787.5	149.10	190.11	187.42	196.00
	P2-14-CS	10.05	20.21	3777.5	144.88	184.72		
	P3-14-CS	10.05	20.28	3784.5	153.36	195.53	198.01	
	P4-14-CS	10.05	20.45	3777	157.25	200.49		
	P5-14-CS	10.07	20.28	3783	162.10	206.68	202.57	
	P6-14-CS	10.12	20.46	3784	155.65	198.45		
28 días	P1-28-CS	10.08	20.18	3776.5	185.56	236.59	235.87	234.40
	P2-28-CS	10.13	20.33	3787.5	184.44	235.16		
	P3-28-CS	10.13	20.12	3787	191.07	243.61	241.78	
	P4-28-CS	10.14	20.48	3787	188.20	239.96		
	P5-28-CS	10.10	20.53	3777	180.75	230.46	225.55	
	P6-28-CS	10.12	20.22	3778	173.05	220.64		
60 días	P1-60-CS	10.09	20.41	3782	177.77	226.65	221.02	223.53
	P2-60-CS	10.11	20.45	3785.5	168.92	215.38		
	P3-60-CS	10.11	20.43	3777.5	183.17	233.54	235.03	
	P4-60-CS	10.08	20.22	3787.5	185.50	236.51		
	P5-60-CS	10.07	20.52	3784	166.25	211.97	214.55	
	P6-60-CS	10.08	20.28	3783.5	170.30	217.13		

Nota. Concreto sin aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

figura 29

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 5



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 55

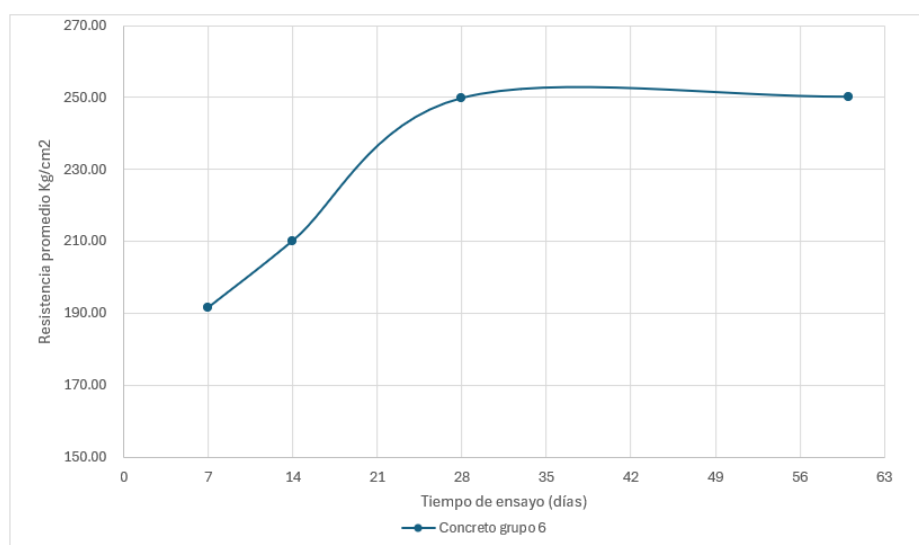
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 6

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	400-7-CS	10.12	20.42	3784.5	143.53	183.00	185.93	191.53
	400-7-CS	10.14	20.53	3785	148.12	188.86		
	400-7-CS	10.09	20.21	3788	157.62	200.96	196.90	
	400-7-CS	10.14	20.55	3784	151.25	192.84		
	400-7-CS	10.08	20.48	3776	139.80	178.25	191.77	
	400-7-CS	10.08	20.17	3786	161.01	205.29		
14 días	400-14-CS	10.13	20.49	3787	169.29	215.85	211.67	210.14
	400-14-CS	10.07	20.50	3783.5	162.74	207.49		
	400-14-CS	10.12	20.41	3783.5	169.32	215.89	214.09	
	400-14-CS	10.15	20.42	3783.5	166.50	212.29		
	400-14-CS	10.08	20.31	3780	165.10	210.50	204.67	
	400-14-CS	10.09	20.56	3781.5	155.95	198.84		
28 días	400-28-CS	10.20	20.37	3783.5	192.73	245.73	247.44	249.82
	400-28-CS	10.17	20.33	3779.5	195.41	249.15		
	400-28-CS	10.09	20.50	3785	199.78	254.72	252.95	
	400-28-CS	10.13	20.27	3785.5	197.01	251.19		
	400-28-CS	10.15	20.29	3781	189.19	241.22	249.06	
	400-28-CS	10.10	20.31	3786.5	201.50	256.91		
60 días	400-60-CS	10.11	20.44	3780	187.82	239.48	242.11	250.15
	400-60-CS	10.07	20.42	3779	191.96	244.75		
	400-60-CS	10.06	20.28	3780	201.51	256.92	252.33	
	400-60-CS	10.10	20.13	3785.5	194.30	247.73		
	400-60-CS	10.11	20.29	3787.5	196.50	250.54	256.02	
	400-60-CS	10.12	20.28	3787	205.10	261.50		

Nota. Concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

figura 30

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 6



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 56

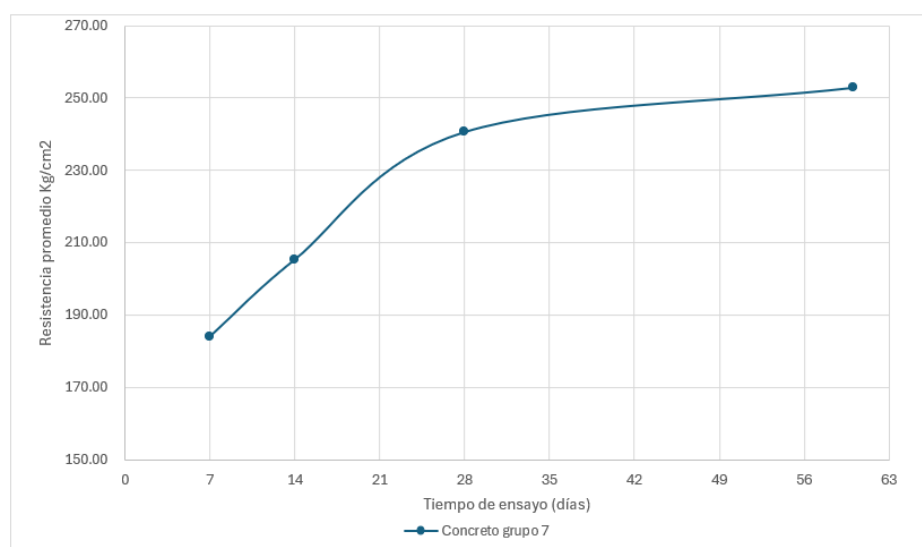
## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 7

días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	800-7-CS	10.14	20.38	3780	140.19	178.75	183.26	184.05
	800-7-CS	10.06	20.14	3785.5	147.28	187.78		
	800-7-CS	10.13	20.37	3788	147.71	188.33	185.81	
	800-7-CS	10.06	20.49	3779	143.75	183.28		
	800-7-CS	10.12	20.32	3778	135.90	173.27	183.09	
	800-7-CS	10.15	20.52	3787	151.30	192.91		
14 días	800-14-CS	10.09	20.23	3787.5	157.31	200.57	204.79	205.36
	800-14-CS	10.07	20.48	3784.5	163.93	209.01		
	800-14-CS	10.11	20.42	3780.5	160.75	204.95	206.07	
	800-14-CS	10.02	20.45	3784.5	162.50	207.19		
	800-14-CS	10.10	20.37	3787	153.60	195.84	205.21	
	800-14-CS	10.14	20.32	3780.5	168.30	214.58		
28 días	800-28-CS	10.02	20.53	3780	194.95	248.57	238.93	240.68
	800-28-CS	10.10	20.33	3785	179.85	229.30		
	800-28-CS	10.07	20.58	3783	193.51	246.72	243.66	
	800-28-CS	10.15	20.40	3780	188.70	240.59		
	800-28-CS	10.07	20.26	3782.5	175.40	223.64	239.45	
	800-28-CS	10.12	20.30	3783	200.20	255.26		
60 días	800-60-CS	10.09	20.47	3782	196.01	249.91	251.19	252.94
	800-60-CS	10.04	20.25	3788	198.01	252.46		
	800-60-CS	10.11	20.33	3782.5	199.67	254.58	255.11	
	800-60-CS	10.07	20.35	3785	200.50	255.64		
	800-60-CS	10.14	20.30	3777	192.30	245.18	252.51	
	800-60-CS	10.16	20.36	3785.5	203.80	259.85		

Nota. Concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

figura 31

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 7



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

Tabla 57

## Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 8

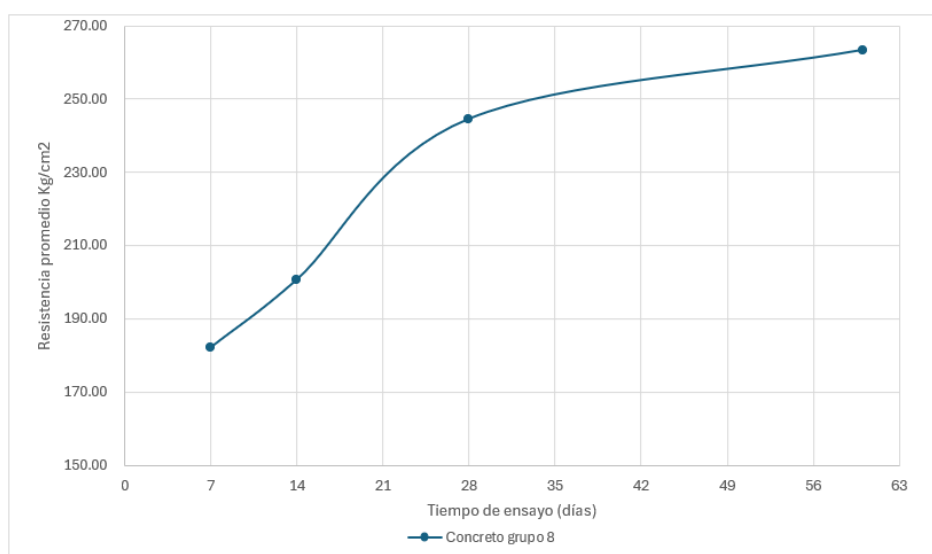
días de ensayo	Cod	r prom cm	h prom	Peso gr	Carga KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo kg/cm <sup>2</sup>	Prom kg/cm <sup>2</sup>
7 días	800-7-CS	10.14	20.38	3780	140.19	178.75	183.26	184.05
	800-7-CS	10.06	20.14	3785.5	147.28	187.78		
	800-7-CS	10.13	20.37	3788	147.71	188.33	185.81	
	800-7-CS	10.06	20.49	3779	143.75	183.28		
	800-7-CS	10.12	20.32	3778	135.90	173.27	183.09	
	800-7-CS	10.15	20.52	3787	151.30	192.91		
14 días	800-14-CS	10.09	20.23	3787.5	157.31	200.57	204.79	205.36
	800-14-CS	10.07	20.48	3784.5	163.93	209.01		
	800-14-CS	10.11	20.42	3780.5	160.75	204.95	206.07	
	800-14-CS	10.02	20.45	3784.5	162.50	207.19		
	800-14-CS	10.10	20.37	3787	153.60	195.84	205.21	
	800-14-CS	10.14	20.32	3780.5	168.30	214.58		
28 días	800-28-CS	10.02	20.53	3780	194.95	248.57	238.93	240.68
	800-28-CS	10.10	20.33	3785	179.85	229.30		
	800-28-CS	10.07	20.58	3783	193.51	246.72	243.66	
	800-28-CS	10.15	20.40	3780	188.70	240.59		
	800-28-CS	10.07	20.26	3782.5	175.40	223.64	239.45	
	800-28-CS	10.12	20.30	3783	200.20	255.26		
60 días	800-60-CS	10.09	20.47	3782	196.01	249.91	251.19	252.94
	800-60-CS	10.04	20.25	3788	198.01	252.46		
	800-60-CS	10.11	20.33	3782.5	199.67	254.58	255.11	
	800-60-CS	10.07	20.35	3785	200.50	255.64		
	800-60-CS	10.14	20.30	3777	192.30	245.18	252.51	
	800-60-CS	10.16	20.36	3785.5	203.80	259.85		

Nota. Concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

figura

32

## Evolución de la resistencia a compresión-concreto grupo 8



Nota. Representación gráfica de la evolución de la resistencia a compresión.

**Tabla 58***Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 9*

DÍAS DE ENSAYO	COD	r PROM	h PROM	PESO gr	CARGA KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>
28 días	IP-28-SS	10.14	20.15	3770.50	194.34	247.78
	IP-28-SS	10.11	20.43	3771.00	198.51	253.10
	IP-28-SS	10.17	20.46	3779.00	194.61	248.13
	IP-28-SS	10.04	20.39	3773.00	187.15	238.62
	IP-28-SS	10.08	20.28	3771.00	190.46	242.84
	IP-28-SS	10.04	20.27	3777.00	189.61	241.75
60 días	IP-60-SS	10.06	20.49	3780.5	214.52	273.51
	IP-60-SS	10.07	20.26	3781	208.03	265.24
	IP-60-SS	10.14	20.09	3785.5	219.50	279.86
	IP-60-SS	10.07	20.19	3786.5	220.62	281.29
	IP-60-SS	10.15	20.41	3788	214.78	273.84
	IP-60-SS	10.13	20.28	3776.5	222.77	284.03

*Nota.* Concreto elaborado con cemento Portland tipo IP

**Tabla 59***Resultados de Resistencia a la Compresión – Grupo 10*

DÍAS DE ENSAYO	COD	r PROM	h PROM	PESO gr	CARGA KN	F'c kg/cm <sup>2</sup>
28 días	IP-28-CS	10.12	20.49	3784	179.43	228.77
	IP-28-CS	10.12	20.38	3779	185.46	236.46
	IP-28-CS	10.08	20.44	3778.5	186.20	237.41
	IP-28-CS	10.12	20.54	3781.5	168.97	215.44
	IP-28-CS	10.16	20.31	3783.5	176.30	224.78
	IP-28-CS	10.14	20.24	3786	192.17	245.02
60 días	IP-60-CS	10.09	20.47	3782	164.23	209.39
	IP-60-CS	10.04	20.25	3788	160.38	204.48
	IP-60-CS	10.11	20.33	3782.5	172.25	219.62
	IP-60-CS	10.07	20.35	3785	168.55	214.90
	IP-60-CS	10.14	20.30	3777	160.90	205.15
	IP-60-CS	10.16	20.36	3785.5	177.75	226.63

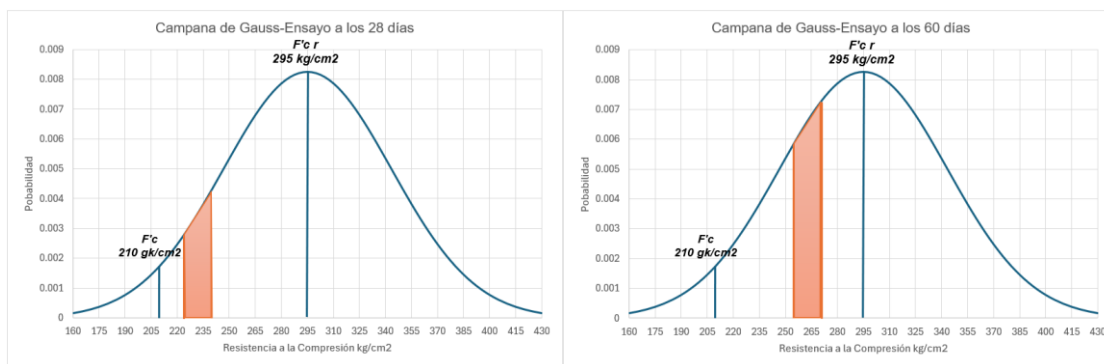
*Nota.* Concreto elaborado con cemento Portland tipo IP expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

#### 4.6.4.1. Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico de la distribución de los resultados de resistencia a compresión del concreto a los 28 días, considerando esta edad como el punto de referencia en el que se espera que el material alcance la resistencia requerida. Adicionalmente, se evaluó la resistencia a los 60 días con el objetivo de analizar su evolución en el tiempo, tanto en condiciones de exposición como de no exposición a sulfatos.

**figura 33**

*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión -Grupo 1*

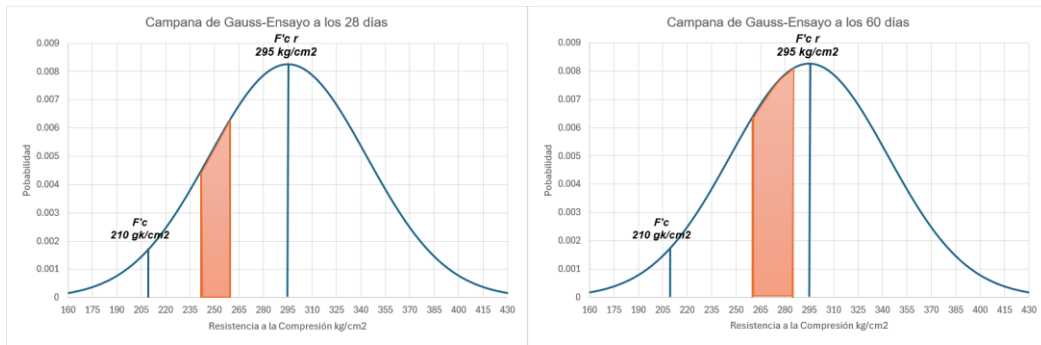


**Nota. Concreto Patrón**

En la Figura 32 se presenta la distribución de los resultados de los ensayos de compresión del concreto patrón. En la imagen de la izquierda, correspondiente al ensayo a los 28 días, se observa que la resistencia tiende a acercarse a la resistencia de diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , Por otro lado, en la imagen de la derecha, que muestra los resultados a los 60 días, se evidencia un incremento en la resistencia, alcanzando valores cercanos a la resistencia requerida de  $f'cr=295 \text{ kg/cm}^2$ .

**figura 34**

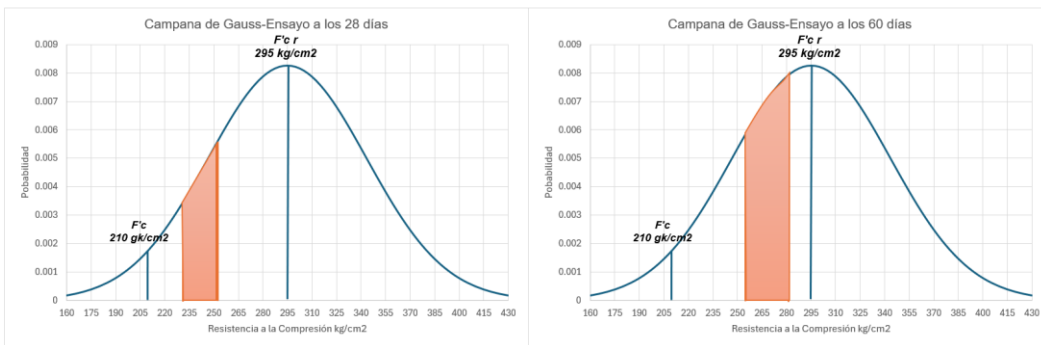
*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 2*



*Nota. Concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante*

**figura 35**

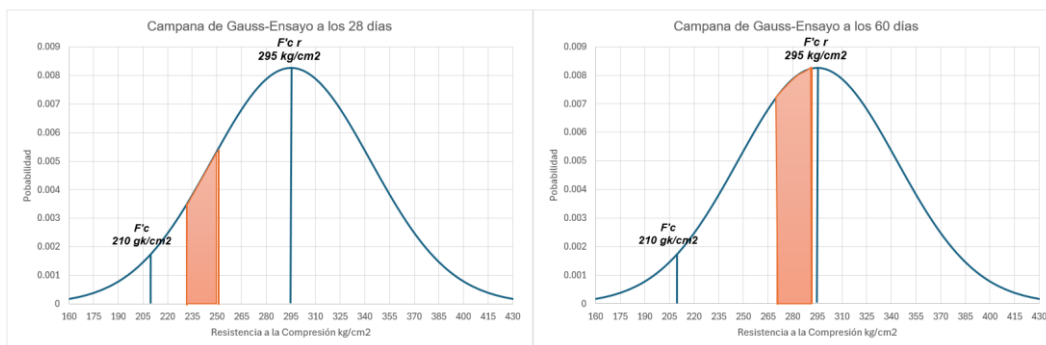
*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 3*



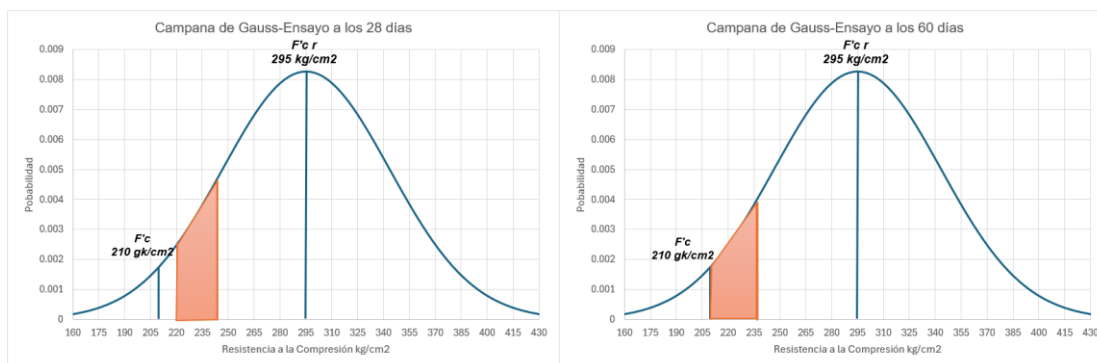
*Nota. Concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante*

**figura 36**

*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión - Grupo 4*

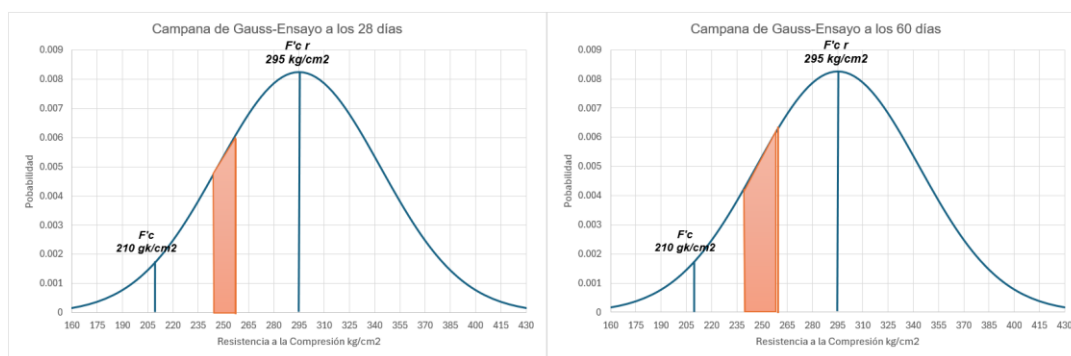


*Nota. Concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante*

**figura 37****Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 5**

**Nota.** Concreto sin aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

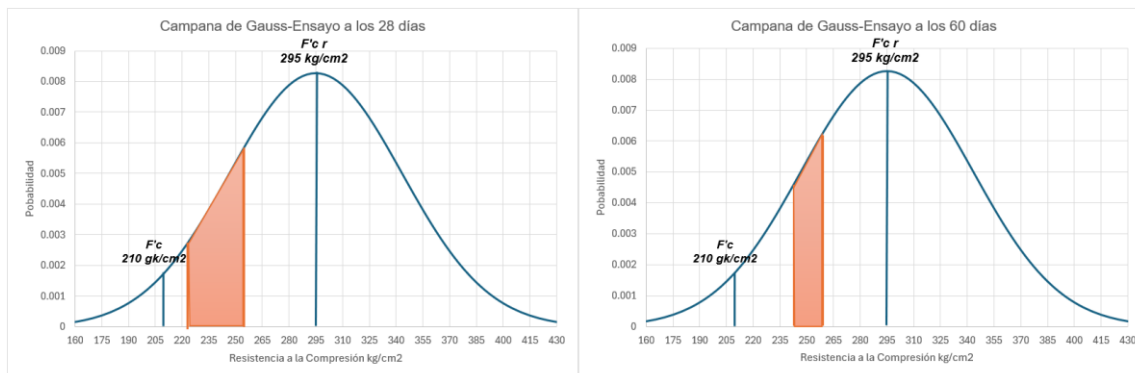
En la Figura 36 se observa que los resultados de los ensayos de resistencia a compresión en muestras que han sido expuestas a sulfatos, tanto a los 28 como a los 60 días, tienden a mantenerse en torno a la resistencia de diseño  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Además, los valores obtenidos a los 60 días alcanzan el límite inferior de este rango. Esto indica que, en presencia de sulfatos, la resistencia a compresión del concreto se ve afectada negativamente, y dicho efecto se intensifica con el tiempo de exposición, incluso cuando el concreto ha sido elaborado con cemento tipo HS.

**figura 38****Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 6**

**Nota.** Concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

**figura 39**

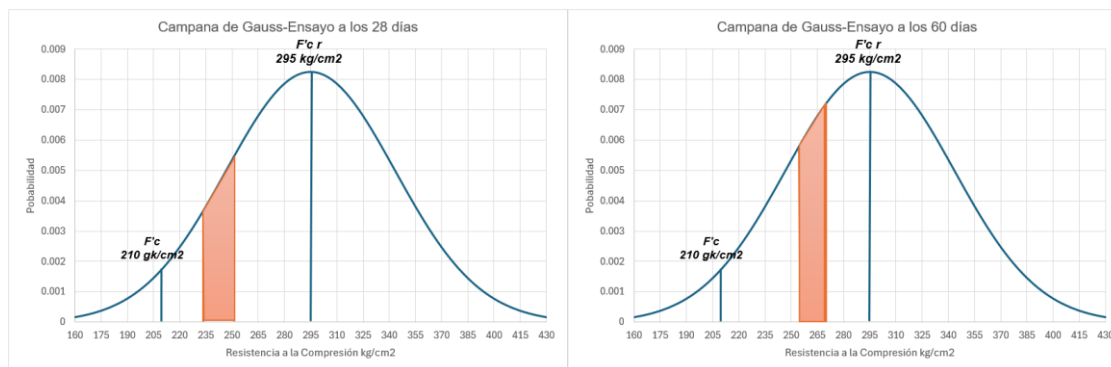
*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 7*



*Nota.* Concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

**figura 40**

*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 8*

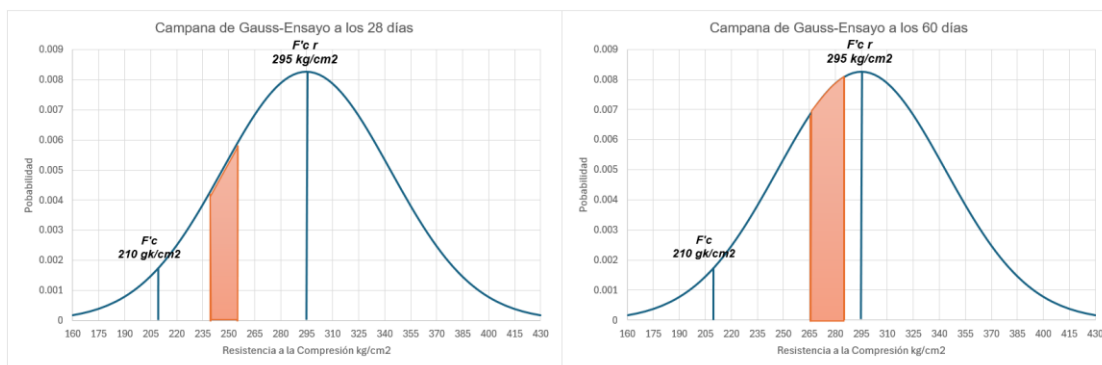


*Nota.* Concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

En las Figuras 37, 38 y 39 se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión en muestras expuestas a sulfatos, pero con la adición de aditivo impermeabilizante en distintas dosis. Se observa que los valores obtenidos tienden a alejarse progresivamente de la resistencia de diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , lo que sugiere que el aditivo contribuye a mitigar los efectos negativos de la exposición a sulfatos, favoreciendo un mejor desempeño mecánico del concreto a lo largo del tiempo.

**figura 41**

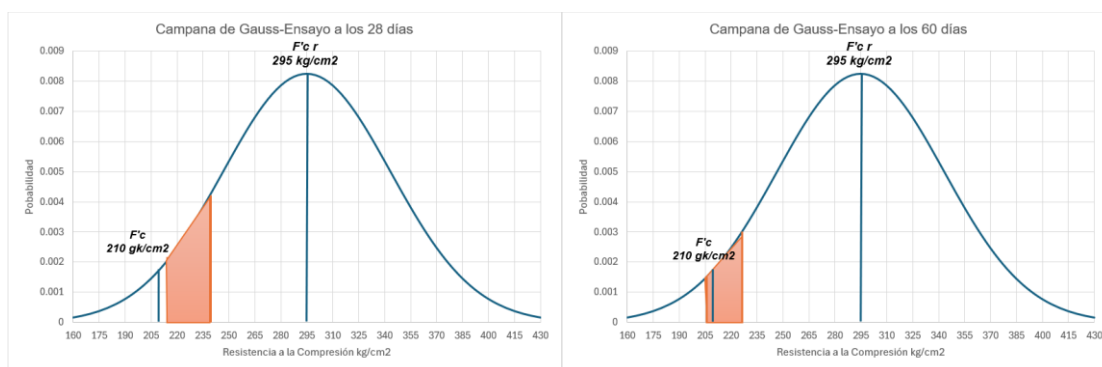
*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 9*



*Nota.* : Concreto elaborado con cemento Portland tipo IP

**figura 42**

*Distribución de los resultados de Resistencia a Compresión – Grupo 10*



*Nota.* Concreto elaborado con cemento Portland tipo IP expuesto a solución de Sulfato de Amonio de 10,000 ppm

En la Figura 41 se observa el desempeño del concreto elaborado con cemento Portland tipo IP, el más utilizado en la región del Cusco. Los resultados muestran un buen desempeño en la resistencia a compresión, alejándose de la resistencia de diseño  $f'c=210$   $\text{kg/cm}^2$  y acercándose a la resistencia requerida  $f'cr=295$   $\text{kg/cm}^2$ , Sin embargo, en la Figura 37, correspondiente a las muestras expuestas a sulfatos, se evidencia un marcado descenso en la resistencia, llegando incluso a sobrepasar el límite inferior del rango establecido tras 60 días de exposición, lo que indica una notable afectación del material en estas condiciones.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

En esta investigación se han presentado ideas propias y evitado el plagio, reconociendo adecuadamente las fuentes utilizadas. El respeto por la autoría de los textos implica citar correctamente a los autores originales y ser transparente con la procedencia de la información, evitando la apropiación indebida del trabajo de otros. Asimismo, se respetó los resultados obtenidos, presentándolos de manera precisa y sin manipulación, incluso cuando no coincidan con las hipótesis planteadas. La falsificación de datos es una falta ética grave que compromete la validez de la investigación.

## V. Resultados y discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Desarrollo de la resistencia a la compresión a los 7,14,28 y 60 días del concreto $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> elaborado con cemento tipo HS, agregando 400, 800 y 1200 ml de aditivo impermeabilizante.

Se ha analizado los resultados de la resistencia a la compresión de las muestras patrón y experimentales. La muestra patrón ha sido elaborada con cemento HS, con un diseño de mezclas que contempla las condiciones de las zonas altoandinas de la región del Cusco, mientras que las muestras experimentales fueron añadidas con dosis de aditivo impermeabilizante y expuestas a una solución de sulfato de amonio, obteniendo lo siguiente:

**Tabla 60**

*Resistencia a la Compresión promedio – muestras sin exposición a sulfato*

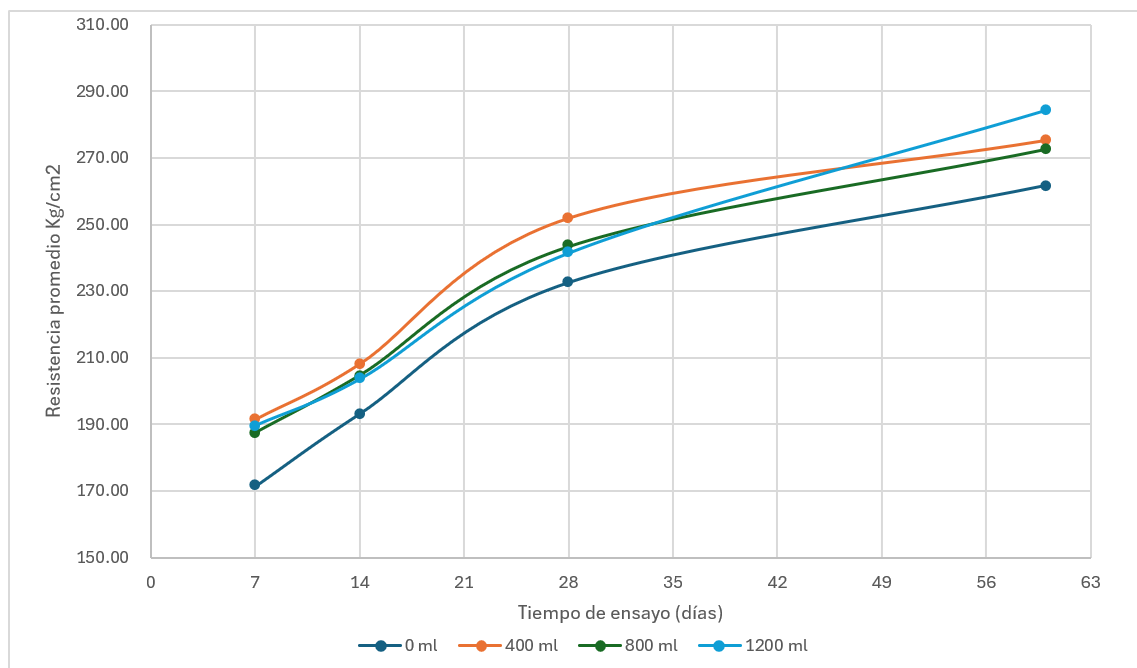
Aditivo (ml) / Días	Resistencia promedio a la compresión kg/cm <sup>2</sup>			
	7	14	28	60
0 ml	171.23	193.05	232.53	261.73
400 ml	191.40	208.08	251.92	275.32
800 ml	187.48	204.72	243.40	272.66
1200 ml	189.60	203.51	241.35	284.26

*Nota.* Se muestran las resistencias a compresión promedio de los especímenes no expuestos a sulfatos, evaluados a los 7, 14, 28 y 60 días.

En el análisis de los resultados de resistencia del concreto en función de la cantidad de aditivo agregado (0 ml, 400 ml, 800 ml, y 1200 ml) y los días transcurridos (7, 14, 28, y 60 días), se observa una tendencia general de incremento en la resistencia conforme avanza el tiempo de curado, independientemente de la cantidad de aditivo.

**Figura 43**

*Resistencia a la Compresión promedio – muestras sin exposición a sulfato.*



*Nota.* Representación gráfica de la evolución de la Resistencia a Compresión del concreto con las distintas dosificaciones de aditivo impermeabilizante.

A los 7 días, la muestra sin aditivo presenta un valor de resistencia de 171.23 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la adición de 400 ml de aditivo resulta en un aumento significativo hasta 191.40 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, para las muestras con 800 ml y 1200 ml de aditivo, los valores de resistencia son ligeramente menores (187.48 kg/cm<sup>2</sup> y 189.48 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente) en comparación con la de 400 ml. Esto sugiere que el uso moderado del aditivo (400 ml) es más eficiente a corto plazo en cuanto al desarrollo temprano de resistencia.

A los 14 días, se aprecia un comportamiento similar. La muestra con 400 ml de aditivo muestra la mayor resistencia (208.08 kg/cm<sup>2</sup>), lo que indica un beneficio continuo en la aceleración de la ganancia de resistencia respecto a la muestra sin aditivo (193.05 kg/cm<sup>2</sup>). En contraste, la adición de 800 ml y 1200 ml genera resistencias inferiores a la de 400 ml, con valores de 204.72 kg/cm<sup>2</sup> y 203.51 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Aunque aún superiores a

la muestra sin aditivo, estos resultados indican que cantidades mayores de aditivo no necesariamente incrementan proporcionalmente la resistencia a corto y mediano plazo.

A los 28 días, los resultados continúan mostrando un patrón similar, donde la muestra con 400 ml de aditivo alcanza una resistencia de 251.92 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que la sin aditivo logra 232.53 kg/cm<sup>2</sup>. En este caso, las muestras con 800 ml y 1200 ml presentan una resistencia ligeramente menor (243.40 kg/cm<sup>2</sup> y 241.35 kg/cm<sup>2</sup>), lo que sugiere que el uso de mayores cantidades de aditivo no mejora significativamente la resistencia a esta edad.

A los 60 días, los valores muestran que todas las muestras han incrementado su resistencia de manera notable. La mayor resistencia se encuentra en la muestra con 1200 ml de aditivo, que alcanza 284.26 kg/cm<sup>2</sup>, superando incluso a la muestra con 400 ml (275.32 kg/cm<sup>2</sup>) y a la sin aditivo (261.73 kg/cm<sup>2</sup>). En esta etapa, el efecto del aditivo parece más evidente, ya que las resistencias de todas las muestras con aditivo superan a la sin aditivo. A largo plazo, el uso de aditivos en cantidades mayores (1200 ml) parece ofrecer un incremento en la resistencia, posiblemente debido a que el concreto ha tenido más tiempo para aprovechar los beneficios del aditivo en su proceso de curado.

**5.1.2. Desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> sumergiendo las muestras en una solución de sulfato de amonio de 10,000 ppm durante 7, 14, 28 y 60 días.**

Se ha utilizado aditivo con la presencia de sulfato de Amonio en una solución de 10,000 ppm para poder evaluar los resultados, donde se ha encontrado:

**Tabla 61**

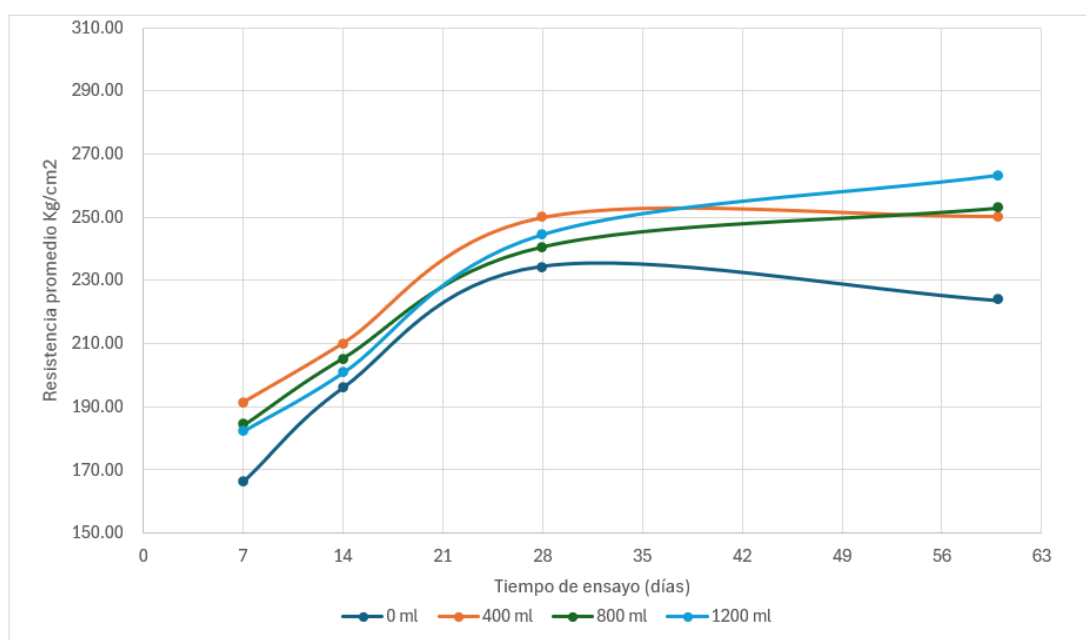
*Resistencia a la Compresión promedio – muestras expuestas a solución de sulfato de amonio a 10,000 ppm*

Aditivo (ml) / Días	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>			
	7	14	28	60
0 ml	166.21	196.00	234.40	223.53
400 ml	191.53	210.14	249.82	250.15
800 ml	184.05	205.36	240.68	252.94
1200 ml	182.20	200.75	244.60	263.40

*Nota.* Se muestran las resistencias a compresión promedio de los especímenes expuestos a sulfatos, evaluados a los 7, 14, 28 y 60 días

**Figura 44**

*Resistencia a la Compresión promedio – muestras expuestas a sulfato de amonio.*



*Nota.* Representación gráfica de la evolución de la Resistencia a Compresión del concreto con las distintas dosificaciones de aditivo impermeabilizante.

El análisis de los resultados de resistencia del concreto sometido a efectos de sulfatos, considerando diferentes cantidades de aditivo (0 ml, 400 ml, 800 ml y 1200 ml) y la evolución temporal en los días 7, 14, 28 y 60, revela patrones interesantes en la influencia del aditivo sobre la durabilidad del concreto en condiciones de agresividad química.

A los 7 días, se observa que la muestra sin aditivo tiene la resistencia más baja (166.21 kg/cm<sup>2</sup>), lo cual es consistente con la expectativa de que la exposición a sulfatos afecta negativamente la resistencia del concreto en ausencia de protección adicional. En contraste, la adición de 400 ml de aditivo genera un aumento significativo en la resistencia, alcanzando 191.53 kg/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere que el aditivo contribuye a mejorar la resistencia en las primeras etapas bajo la exposición a sulfatos. Sin embargo, cuando se incrementa el aditivo a 800 ml y 1200 ml, las resistencias disminuyen ligeramente a 184.05 kg/cm<sup>2</sup> y 182.20 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Esto indica que el exceso de aditivo puede no ser beneficioso en la etapa inicial y que el equilibrio en la cantidad de aditivo es crucial para optimizar el desempeño temprano.

A los 14 días, las muestras con 400 ml de aditivo continúan mostrando la mayor resistencia (210.14 kg/cm<sup>2</sup>), lo que refuerza la idea de que esta cantidad de aditivo es la más eficiente en la protección contra sulfatos durante las primeras dos semanas. La muestra sin aditivo también experimenta un incremento notable en resistencia (196.00 kg/cm<sup>2</sup>), pero sigue siendo inferior a las muestras con aditivo. Las muestras con 800 ml y 1200 ml muestran resistencias de 205.36 kg/cm<sup>2</sup> y 200.75 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, lo que indica que la adición de mayores cantidades de aditivo sigue sin generar mejoras proporcionales en esta etapa.

A los 28 días, los efectos de la cantidad de aditivo se vuelven más pronunciados. La muestra con 400 ml de aditivo sigue presentando la mayor resistencia (249.82 kg/cm<sup>2</sup>), en comparación con la muestra sin aditivo, que alcanza 234.40 kg/cm<sup>2</sup>. Las muestras con 800 ml y 1200 ml muestran resistencias similares, con 240.68 kg/cm<sup>2</sup> y 244.60 kg/cm<sup>2</sup>, lo que sugiere que, aunque la resistencia ha mejorado en relación con la muestra sin aditivo, las cantidades mayores de aditivo no ofrecen un incremento significativo en la resistencia a los 28 días. Esto podría indicar que, hasta esta edad, una dosis más alta de aditivo no aporta beneficios adicionales bajo la agresión del sulfato de amonio.

Finalmente, a los 60 días donde la exposición a los sulfatos ha sido más prolongada, la muestra con 1200 ml de aditivo presenta la mayor resistencia (263.40 kg/cm<sup>2</sup>), lo que sugiere que, a largo plazo, una mayor cantidad de aditivo proporciona un efecto positivo en la resistencia del concreto frente a los sulfatos. La muestra con 400 ml, que hasta este punto había mostrado el mejor rendimiento, presenta una resistencia de 250.15 kg/cm<sup>2</sup>, lo que, aunque es superior a la de la muestra sin aditivo (223.53 kg/cm<sup>2</sup>), queda por debajo de las muestras con mayores cantidades de aditivo. La muestra con 800 ml de aditivo también muestra un comportamiento destacado, con una resistencia de 252.94 kg/cm<sup>2</sup>, similar a la de la muestra con 400 ml pero superior a las muestras sin aditivo.

**Tabla 62**

*Evolución de la resistencia del concreto en condiciones de sulfatos expresado en porcentajes*

Aditivo (ml) / Días	Resistencia a la compresión kg/cm <sup>2</sup>			
	7	14	28	60
0 ml	71%	84%	100%	95%
400 ml	77%	84%	100%	100%
800 ml	76%	85%	100%	105%
1200 ml	74%	82%	100%	108%

*Nota.* La presente tabla muestra los porcentajes con respecto a la resistencia alcanzada a los 28 días.

En la tabla 47 se observa que el concreto sin aditivo muestra un incremento de resistencia hasta los 28 días, pero a los 60 días sufre una reducción al 95% indicando una disminución de 5% en su resistencia, evidenciando la acción negativa de los sulfatos. Con 400 ml de aditivo, la resistencia sigue un comportamiento similar hasta los 28 días, pero a los 60 días se mantiene en 100%, lo que indica una mejor estabilidad frente a los sulfatos. En el caso de 800 ml, la resistencia incrementa hasta los 28 días y, a diferencia de las dosificaciones menores, a los 60 días la resistencia sigue incrementando en un 5%, lo que sugiere que esta cantidad de aditivo mitiga mejor la degradación. Finalmente, con 1200 ml, se obtiene la mayor resistencia a los 28 días y a los 60 días un incremento del 8%, lo que

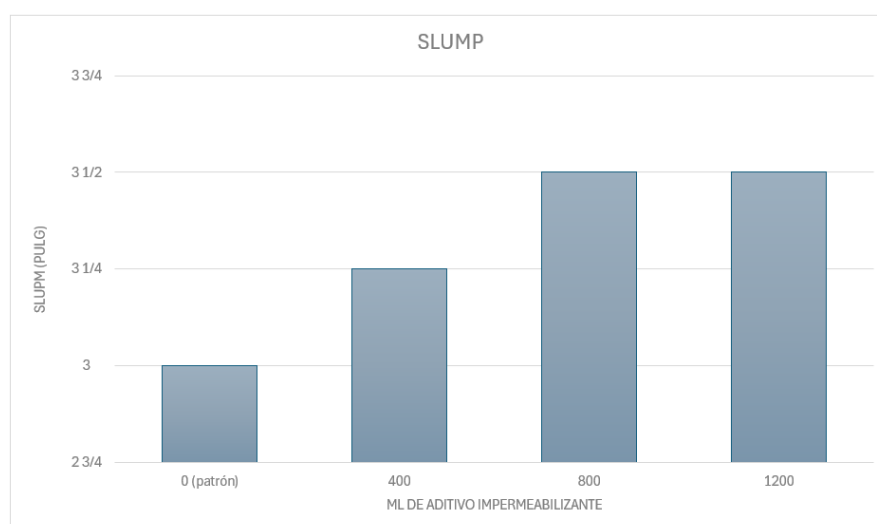
confirma que esta dosificación ofrece la mejor protección contra el deterioro por sulfatos a largo plazo.

### **5.1.3. Revenimiento del concreto patrón y el concreto con aditivo impermeabilizante.**

El aditivo impermeabilizante genera un ligero aumento en el asentamiento del concreto, lo que puede mejorar su trabajabilidad sin afectar significativamente su consistencia. Se observa un aumento desde 3 pulgadas con 400 ml, conforme al diseño de mezclas, hasta 3 1/2 pulgadas con 800 ml y 1200 ml.

**Figura 45**

*Slump en función de la cantidad de Aditivo impermeabilizante en la mezcla de concreto.*



*Nota.* Incremento del asentamiento con relación a la cantidad de aditivo impermeabilizante.

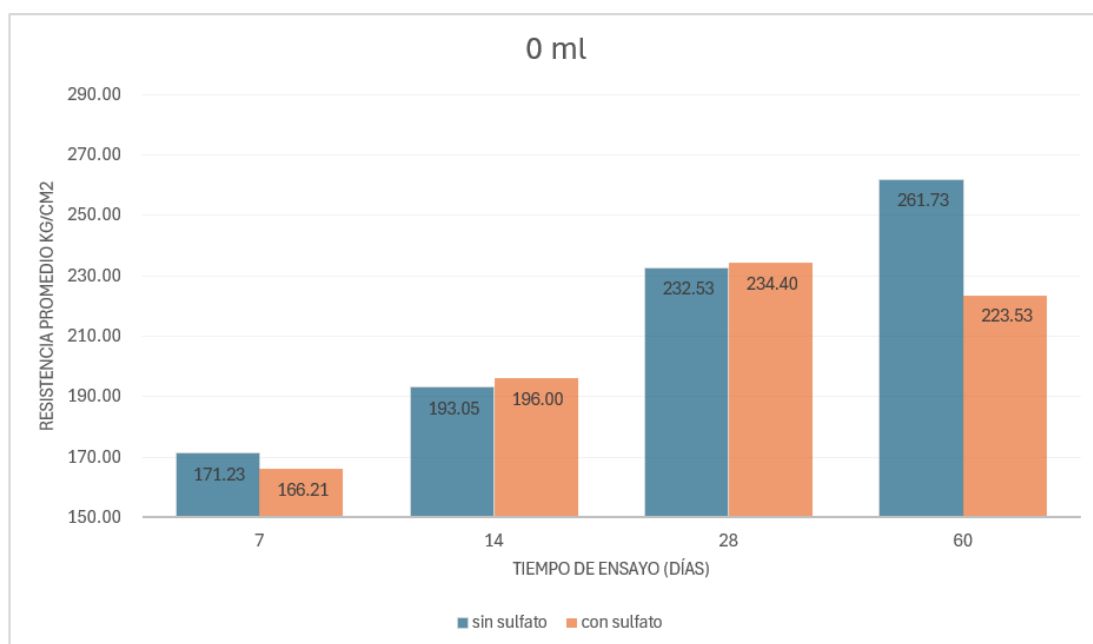
Dado que la variación en el asentamiento es mínima, se confirma que el aditivo no actúa como un superplastificante. Esto se debe a que su función principal es optimizar la impermeabilidad del concreto sin modificar de manera sustancial su comportamiento en estado fresco.

#### 5.1.4. Dosificación que brinda el mejor comportamiento mecánico del concreto $f'c=210$ kg/cm<sup>2</sup> con las distintas dosis de aditivo impermeabilizante.

Se ha elaborado un comparativo en el desempeño de cada dosificación de aditivo impermeabilizante frente al ataque de sulfatos.

**Figura 46**

*Comparación en el desempeño del concreto Patrón frente al ataque de Sulfatos.*

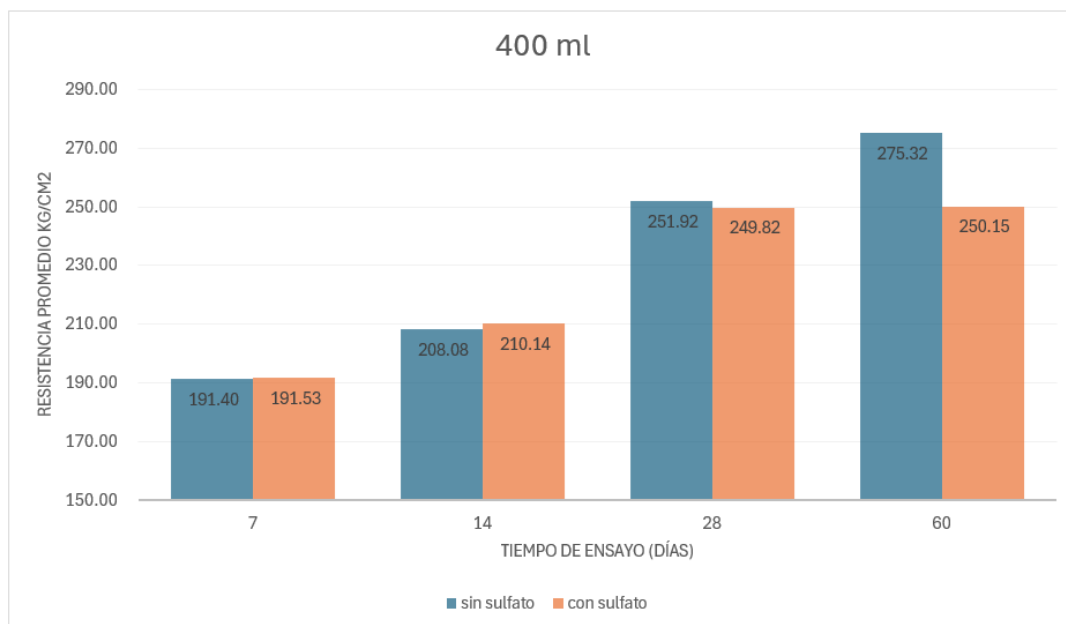


*Nota.* Comparación en el desempeño del concreto patrón no expuesto a sulfatos (barra azul), frente al concreto patrón expuesto a sulfatos (barra naranja).

Sin el uso de aditivos impermeabilizantes, el concreto presenta un comportamiento mecánico aceptable en condiciones normales, alcanzando una resistencia máxima de **261.73 kg/cm<sup>2</sup>** a los 60 días. Sin embargo, en exposición a sulfatos, la resistencia disminuye significativamente, alcanzando solo **223.53 kg/cm<sup>2</sup>**, lo que demuestra una vulnerabilidad considerable frente a ambientes agresivo

**Figura 47**

*Comparación en el desempeño del concreto con 400 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.*

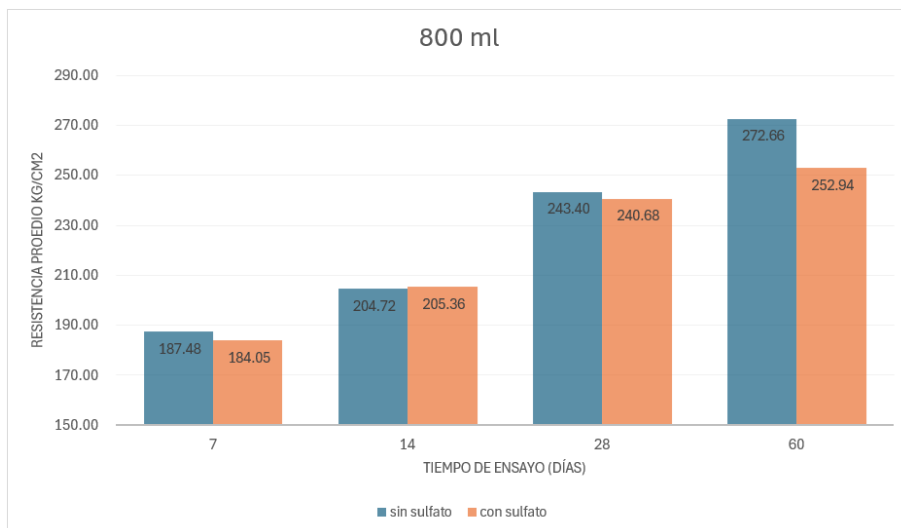


*Nota.* Comparación del desempeño del concreto con 400 ml de aditivo, sin exposición a sulfatos (barra azul) vs. expuesto a sulfatos (barra naranja).

Con la dosificación de 400 ml, el concreto mejora notablemente su desempeño en condiciones normales, logrando una resistencia de **275.32 kg/cm<sup>2</sup>** a los 60 días. En exposición a sulfatos, aunque la resistencia disminuye a **250.15 kg/cm<sup>2</sup>**, se observa una mejora sustancial en comparación con el concreto sin aditivo, evidenciando su efectividad en ambientes agresivos.

**Figura 48**

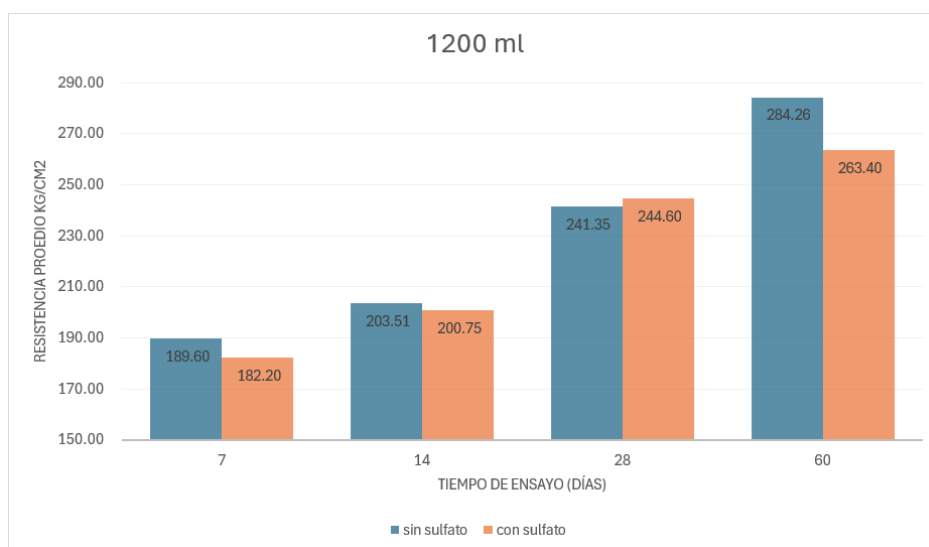
*Comparación en el desempeño del concreto con 800 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.*



*Nota.* Comparación del desempeño del concreto con 800 ml de aditivo, sin exposición a sulfatos (barra azul) vs. expuesto a sulfatos (barra naranja).

**Figura 49**

*Comparación en el desempeño del concreto con 1200 ml de aditivo impermeabilizante frente al ataque de Sulfatos.*



*Nota.* Comparación del desempeño del concreto con 1200 ml de aditivo, sin exposición a sulfatos (barra azul) vs. expuesto a sulfatos (barra naranja).

El concreto con 800 ml de aditivo alcanza una resistencia de **272.66 kg/cm<sup>2</sup>** a los 60 días en condiciones normales, mostrando un buen desempeño mecánico. En exposición a sulfatos, la resistencia se mantiene en **252.94 kg/cm<sup>2</sup>**, indicando que esta dosificación también contribuye significativamente a mejorar la resistencia frente a agentes agresivos.

La dosificación de 1200 ml de aditivo impermeabilizante representa el mejor desempeño general, alcanzando una resistencia de **284.26 kg/cm<sup>2</sup>** a los 60 días en condiciones normales, la más alta entre todas las dosificaciones. En exposición a sulfatos, logra una resistencia de **263.40 kg/cm<sup>2</sup>**, demostrando mejor desempeño a largo plazo.

**5.1.5. Comparación del desempeño del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> elaborado con cemento tipo HS, con un concreto elaborado con cemento tradicional Portland tipo IP ante el ataque de Sulfatos**

Se hizo un análisis comparativo, comparando el desempeño de estos dos tipos de cemento frente al ataque de sulfatos, esto considerando la fuerte demanda que existe de cemento tipo IP en el mercado de la región de Cusco. La comparación se basa en la resistencia a la compresión medida a los 28 y 60 días.

**Tabla 63**

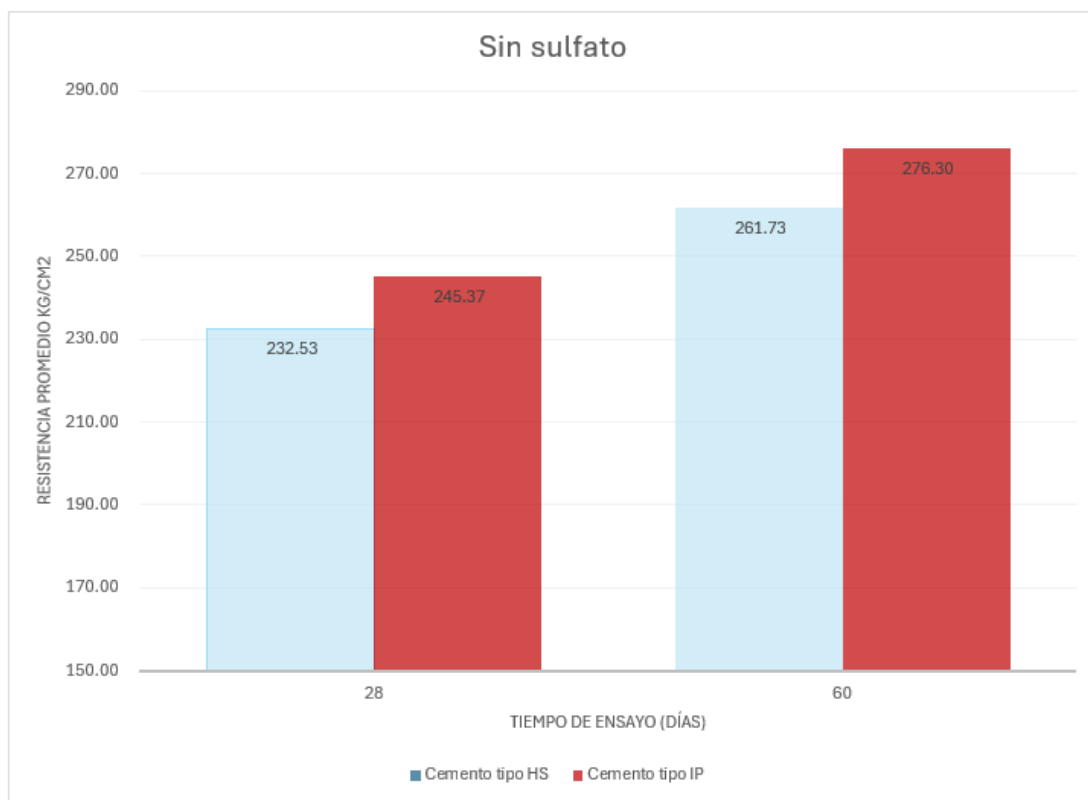
*Resistencia a la Compresión promedio – concreto elaborado con cemento tipo IP*

<b>Tipo de Cemento</b>	<b>Condición</b>	<b>Resistencia a 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a 60 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Cemento tipo IP	No expuesto a Sulfatos	245.37	276.3
Cemento tipo IP	Expuesto a Sulfato	231.31	213.36

*Nota.* Resistencias a compresión promedio, de los concretos elaborados con cemento HS e IP.

**Figura 50**

*Comparación en el desempeño del elaborado con cemento tipo IP y cemento tipo HS en condiciones normales.*

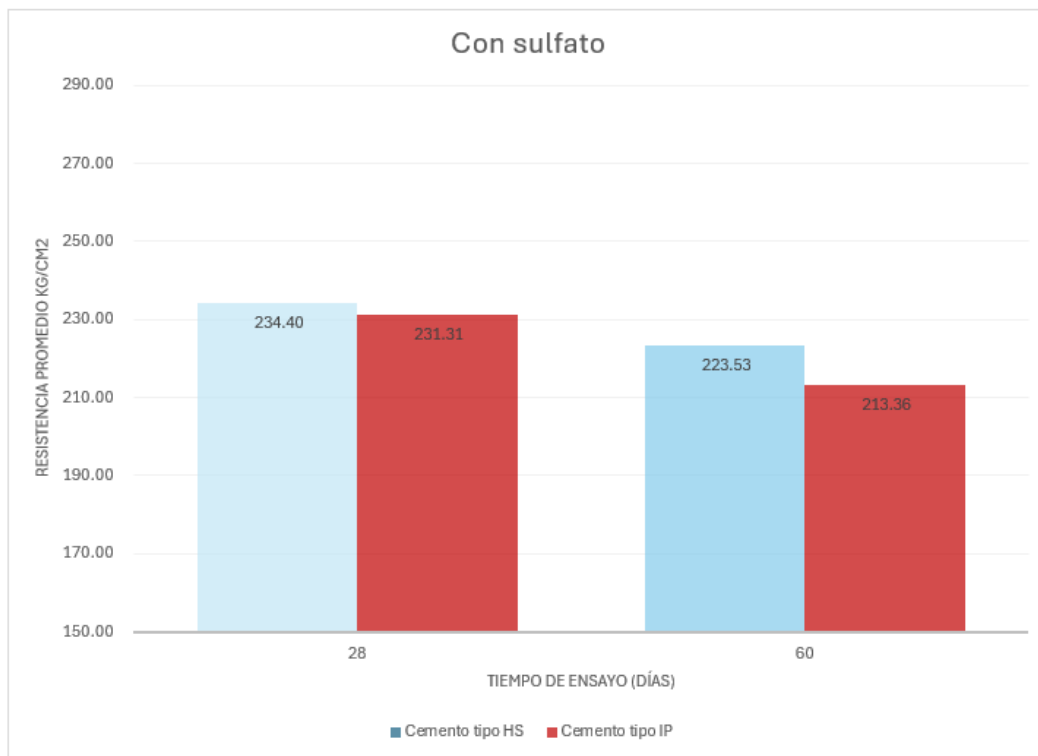


*Nota.* La imagen compara las resistencias a compresión promedio del concreto no expuesto a sulfatos, elaborado con cemento Tipo HS (barra celeste) y cemento Tipo IP (barra roja).

En un ambiente sin presencia de sulfatos, el cemento IP presenta una mayor resistencia inicial a los 28 días (245.37 kg/cm<sup>2</sup> frente a 232.53 kg/cm<sup>2</sup> del cemento HS) y mantiene esta ventaja a los 60 días con una resistencia de 276.30 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el cemento HS alcanza 261.73 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados indican que el cemento IP ofrece un mejor desempeño mecánico tanto en el corto como en el largo plazo cuando no hay presencia de sulfatos.

**Figura 51**

*Comparación en el desempeño del elaborado con cemento tipo IP y cemento tipo HS frente al ataque de Sulfatos.*



*Nota.* La imagen compara las resistencias a compresión promedio del concreto expuesto a sulfatos, elaborado con cemento Tipo HS (barra celeste) y cemento Tipo IP (barra roja).

En condiciones con sulfatos, ambos cementos muestran valores similares a los 28 días (234.40 kg/cm<sup>2</sup> para el cemento HS y 231.31 kg/cm<sup>2</sup> para el cemento IP); sin embargo, a los 60 días, la resistencia del cemento HS disminuye un 4.6% hasta 223.53 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el cemento IP reduce su resistencia un 7.8% hasta 213.36 kg/cm<sup>2</sup>. Esto demuestra que el cemento HS mantiene mejor su resistencia con el tiempo en comparación con el cemento IP, lo que lo hace más adecuado para ambientes agresivos con presencia de sulfatos.

## 5.2. Discusión

La Evaluación de la Calidad del Concreto con Aditivo Impermeabilizante expuesto a Sulfatos en Zonas Altoandinas de la Región del Cusco - 2024 ha producido resultados relevantes sobre la resistencia a la compresión en condiciones tanto de exposición a sulfatos como sin ellos. La comparación con investigaciones anteriores revela patrones interesantes en cuanto a la efectividad de los aditivos y la respuesta del concreto en entornos adversos.

En investigaciones como la de (Cadillo, 2023), se observa una coincidencia en la mejora de la resistencia a la compresión del concreto debido a la incorporación de aditivos impermeabilizantes, independientemente del diseño de mezclas. En la investigación previa, se determinó que la menor dosificación del aditivo, es decir, el 1% de SIKA WT-100, proporcionaba los mejores resultados a los 28 días. De manera similar, en este estudio se evidenció un mejor comportamiento con la menor cantidad de aditivo, equivalente a 400 ml por bolsa de cemento (0.96%) a los 28 días. Sin embargo, en la presente investigación, los ensayos se extendieron hasta los 60 días, lo que permitió observar que, a edades más avanzadas, una mayor dosificación del aditivo puede seguir favoreciendo la resistencia. En este sentido, la mejor respuesta se obtuvo con una dosificación de 1200 ml por bolsa de cemento (2.88%), alcanzando valores superiores a los registrados en edades más tempranas.

Los resultados sin exposición a sulfatos muestran que, a los 28 días, el concreto sin aditivos alcanza una resistencia de 232.53 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que, con la adición de 400 ml de aditivo, la resistencia aumenta a 251.92 kg/cm<sup>2</sup>. Este hallazgo es consistente con las conclusiones de Cusihuamán (2022) y Castañeda (2021), los cuales destacaron que la incorporación de aditivos mejora significativamente la resistencia del concreto, sin embargo, un aspecto diferenciador en este estudio es la evaluación del concreto expuesto a sulfatos, lo que permite analizar su degradación en ambientes agresivos.

Al evaluar el desempeño del concreto en presencia de sulfatos, los resultados indican que la resistencia a la compresión a los 28 días es de 234.40 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto sin aditivo, disminuyendo a 223.53 kg/cm<sup>2</sup> a los 60 días. En contraste, el uso de aditivos impermeabilizantes ha mostrado una mejora significativa, manteniendo la resistencia alrededor de 249.82 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días para la mezcla con 400 ml de aditivo. Esto respalda los hallazgos de Santos (2023) y Chávez (2021), quienes demostraron que los aditivos no solo mejoran la resistencia inicial, sino que también ayudan a mitigar los efectos deteriorantes de los sulfatos en el concreto. Con relación a las investigaciones de Lapa y Rueda (2021) y Granados (2017), que destacaron la vulnerabilidad del concreto frente a sulfatos y la necesidad de utilizar aditivos para mejorar su durabilidad, nuestros resultados refuerzan la idea de que la intervención química adecuada en las mezclas puede ser clave para el rendimiento en condiciones adversas.

Con respecto al estudio de Olórtegui y Guiller (2021), que concluyen que el cemento Tipo HS presenta un mejor desempeño frente al ataque por sulfatos en comparación con el cemento Tipo V, demostrando una mayor resistencia y menor absorción de agentes agresivos. En contraste, la presente investigación analiza el efecto de un aditivo impermeabilizante en el concreto con cemento Tipo HS, evidenciando que su incorporación mejora aún más la durabilidad y resistencia mecánica en ambientes con sulfatos. Mientras que Olórtegui y Guiller emplearon ensayos acelerados con sulfato de magnesio, esta investigación evalúa el comportamiento del concreto en condiciones naturales altoandinas.

La presente investigación abordó el diseño del concreto para su aplicación en zonas altoandinas, y los resultados obtenidos coinciden con tendencias observadas en estudios previos realizados en contextos distintos. Estas investigaciones han evidenciado el impacto positivo de los aditivos impermeabilizantes en la resistencia del concreto expuesto a sulfatos, reafirmando su eficacia en la mejora del desempeño del material.

## VI. Conclusiones

### **Conclusión General**

El uso de aditivos impermeabilizantes influye significativamente en la resistencia y durabilidad del concreto elaborado con cemento tipo HS y diseñado según las condiciones de zonas altoandinas de la región del Cusco. Se comprobó que el aditivo impermeabilizante mejora el desempeño del concreto en exposición a sulfatos, con una mayor efectividad en dosificaciones de 1200 ml por bolsa de cemento a largo plazo

**O.E 01:** La incorporación de aditivos impermeabilizantes en el concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> elaborado con cemento tipo HS, mostró un aumento significativo en la calidad del material, evidenciado por la resistencia a la compresión.

A los 7 días, la muestra sin aditivo presentó la menor resistencia (166.21 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que las muestras con 400, 800 y 1200 ml de aditivo impermeabilizante mostró un incremento significativo, alcanzando 191.53 kg/cm<sup>2</sup>, 187.48 kg/cm<sup>2</sup> y 189.60 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. A los 14 días, la muestra sin aditivo alcanzó 193.05 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que las muestras con 400, 800 y 1200 ml de aditivo impermeabilizante alcanzaron 208.08 kg/cm<sup>2</sup>, 204.72 kg/cm<sup>2</sup> y 203.51 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

A los 28 días, la mayor resistencia se obtuvo con 400 ml de aditivo (251.92 kg/cm<sup>2</sup>). Siendo la menor la muestra sin aditivo alcanzando 232.53 kg/cm<sup>2</sup>, las muestras con 800 ml y 1200 ml de aditivo impermeabilizante obtuvieron 243.40 kg/cm<sup>2</sup> y 241.35 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. A los 60 días, la mejor respuesta en términos de resistencia se obtuvo con la dosificación de 1200 ml, alcanzando 284.26 kg/cm<sup>2</sup> en condiciones normales, la muestra sin aditivo alcanzó a 261.73 kg/cm<sup>2</sup>, las muestras de 400 y 800 ml alcanzaron 275.32 kg/cm<sup>2</sup> y 272.66 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

**O.E 02:** En condiciones de exposición a sulfatos, la resistencia mecánica del concreto muestra una variación significativa. Hasta los 28 días, los efectos de los sulfatos no son claramente evidentes; sin embargo, a los 60 días, su impacto se vuelve más pronunciado,

evidenciando una reducción en la resistencia del concreto expuesto a este ambiente agresivo.

Las muestras con 1200 ml de aditivo alcanzaron una resistencia máxima de 63.40 kg/cm<sup>2</sup> a los 60 días, en comparación con 223.53 kg/cm<sup>2</sup> para el concreto sin aditivo. Las muestras con 400 ml de aditivo también mostraron un aumento notable, alcanzando 250.15 kg/cm<sup>2</sup> y 252.94 kg/cm<sup>2</sup> para 800 ml, lo que sugiere que mayores dosis de aditivo impermeabilizante mejoran la resistencia a largo tiempo.

Así mismo, se logró evidenciar que, a partir los 28 días de curado hasta los 60 días en condición de exposición a sulfatos, la muestra sin aditivo sufrió una reducción del 5% en su resistencia, evidenciando la acción negativa de los sulfatos. Con 400 ml de aditivo, la resistencia se mantuvo lo que indica una mejor estabilidad frente a los sulfatos. En el caso de 800 ml, a diferencia de los otros casos, la resistencia incrementa en un 5%, lo que sugiere que esta cantidad de aditivo mitiga mejor la degradación. Finalmente, con 1200 ml se obtiene la mayor resistencia incrementando un 8% hacia los 60 días, lo que confirma que esta dosificación ofrece la mejor protección contra el deterioro por sulfatos a largo plazo.

**O.E 03:** El aditivo impermeabilizante generó un ligero incremento en el asentamiento del concreto, pasando de 3 pulgadas en la mezcla sin aditivo a 3.5 pulgadas en las mezclas con 800 ml y 1200 ml de aditivo. Esto indica que el aditivo mejora la trabajabilidad del concreto sin modificar significativamente su consistencia ni actuar como un superplastificante.

**O.E 04:** La dosificación de 400 ml presentó un desempeño óptimo en edades tempranas, alcanzando valores superiores a las demás mezclas a los 7, 14 y 28 días tanto en condiciones de presencia de sulfatos como no. La dosificación de 800 ml mostró un comportamiento intermedio, con resistencias máximas de 272.66 kg/cm<sup>2</sup> en condiciones normales y 252.94 kg/cm<sup>2</sup> en ambientes agresivos, lo que la hace una opción viable.

Sin embargo, la dosificación que tuvo el mejor desempeño fue la de 1200 ml por bolsa de cemento, ya que a pesar de que a edades tempranas no obtuvo los mejores resultados, mostró la mayor resistencia final tanto en condiciones normales, como en condiciones de exposición a sulfatos. Alcanzando a los 60 días un máximo de 284.26 kg/cm<sup>2</sup> en condiciones sin sulfato y 263.40 kg/cm<sup>2</sup> en ambientes con sulfatos, confirmando su efectividad en la mejora de la durabilidad del concreto.

**O.E 05:** Finalmente, al utilizar cemento tipo IP, en un ambiente sin presencia de sulfatos, este mostró mejor desempeño mecánico que el cemento HS, alcanzando 245.37 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y 276.30 kg/cm<sup>2</sup> a los 60 días, mientras que el cemento HS obtuvo 232.53 kg/cm<sup>2</sup> y 261.73 kg/cm<sup>2</sup> en los mismos periodos, respectivamente.

En condiciones con presencia de sulfatos, ambos cementos mostraron valores similares a los 28 días (234.40 kg/cm<sup>2</sup> para el cemento HS y 231.31 kg/cm<sup>2</sup> para el cemento IP). Sin embargo, a los 60 días, el cemento HS redujo su resistencia en un 4.6% (223.53 kg/cm<sup>2</sup>), mientras que el cemento IP presentó una disminución del 7.8% (213.36 kg/cm<sup>2</sup>). Esto indica que el cemento HS mantiene mejor su resistencia en ambientes agresivos, lo que lo hace más adecuado para estructuras expuestas a ataques químicos en zonas altoandinas.

## VII. Recomendaciones

Se recomienda ampliar el rango de dosificaciones: Para obtener un entendimiento más profundo sobre el efecto de los aditivos impermeabilizantes, se sugiere explorar un rango más amplio de dosificaciones, incluyendo dosis intermedias entre las ya utilizadas. Esto permitirá identificar un punto óptimo que maximice tanto la resistencia a la compresión como la trabajabilidad del concreto.

Se recomienda incluir pruebas a largo plazo: Considerar la evaluación de la resistencia a la compresión y otras propiedades mecánicas a intervalos más prolongados (por ejemplo, 90, 180 y 365 días). Esto proporcionará información más completa sobre la durabilidad del concreto en condiciones de exposición a sulfatos y su comportamiento a largo plazo.

Se recomienda evaluar otras propiedades del concreto: Aparte de la resistencia a la compresión, se sugiere evaluar otras propiedades importantes como la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad. Esto ofrecerá una visión más holística de cómo los aditivos afectan el comportamiento general del concreto.

Se recomienda incluir diferentes tipos de sulfatos: Ampliar la investigación incluyendo otros tipos de sulfatos (por ejemplo, sulfato de calcio, sulfato de sodio) y sus concentraciones puede ofrecer información relevante sobre cómo diferentes condiciones de agresión afectan la calidad del concreto con aditivos. Esto permitirá evaluar la efectividad de los aditivos en una gama más amplia de situaciones reales.

Se recomienda considerar la aplicación de concreto con cemento Tipo HS y aditivo impermeabilizante en la ejecución de obras expuestas a ambientes agresivos con presencia de sulfatos, especialmente en zonas altoandinas. Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian una mejora en la durabilidad y resistencia mecánica del concreto, lo que sugiere su viabilidad para estructuras hidráulicas, cimentaciones y otras infraestructuras sometidas a condiciones adversas. No obstante, se recomienda realizar

pruebas específicas en obra, considerando las características del suelo y el nivel de exposición a sulfatos, para validar su comportamiento en cada contexto particular.

Además, es fundamental realizar estudios de mecánica de suelos en las construcciones, no solo para conocer las características físicas y mecánicas del suelo, sino también para determinar su composición química. Estos estudios deben ir acompañados de un diseño adecuado de mezclas, basado en las normativas peruanas e internacionales. Dichas normativas ya proporcionan especificaciones sobre la selección del tipo de cemento, los aditivos y la resistencia de diseño del concreto para diferentes escenarios, lo que asegura la calidad y la seguridad de las estructuras. Es importante señalar que la presente tesis tiene un carácter netamente investigativo, por lo que no sigue estrictamente las normativas vigentes, las cuales establecen parámetros específicos, como la resistencia del concreto, que no necesariamente se limita a los 210 kg/cm<sup>2</sup>.

## VIII. Referencias

- Abanto Castillo, F. (1996). *Tecnología del concreto: Teoría y problemas*. Lima: San Marcos.
- American Concrete Institute ACI. (2022). 211.1 Standard Practice for selecting Proportions for Normal Heavyweight, and Mass Concrete.
- ACI, A. (2016). 201 2R-01 Guide to durable Concrete.
- ACI, A. (2016). 306R-16 Guide to Cold Weather Concreting.
- Aimituma et al. (2023). Biorremediación de suelos salinos con enmiendas orgánicas de estiércol de cuy y vacuno, Cusco-Perú. *REACAE*.
- Arenas, J. T. (2022). *Análisis de la Influencia de Acelerantes de Fragua y Resistencia en las Propiedades Mecánicas del Concreto Convencional, Puno 2022*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Arias Julca, D. M., & Espinoza Leyton, M. S. (2021). *Evaluación del mucílago de nopal y el cemento modificado en las propiedades del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en suelos sulfatados, Pachacámac – 2021*. Lima: Universidad César Vallejo.
- ASOCEM. (2023). *Reporte Estadístico de Producción y Despacho de Cemento*. Perú: ASOCEM Asociación de Productores de Cemento.
- ASTM International. (2013). *NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima: INDECOPI.
- ASTM International. (2015). *NTP 339.034: Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima: INACAL.
- ASTM International. (2015). *NTP 400.037: Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Lima: INDECOPI.

- Baffa , F., Carrera, N., Martinez, J., & Mazzolo , M. (2017). *Sulfato de Amonio*. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional.
- Borja. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Chiclayo.
- Cadillo, G. (2023). *Influencia De Los Aditivos Impermeabilizantes En Líquido (Sika Wt – 100 Y Sika I) En La Resistencia A La Compresión Del Concreto De 210 Kg/Cm2 Para Su Uso En Obras Hidráulicas*. Ancash: UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO.
- Castañeda, F. (2021). *Efecto del aditivo SikaCem Impermeable y Sika WT-100 en la resistencia a la compresión y permeabilidad de concretos para cimentación*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Castro et al. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. *Universidad Autónoma de Yucatán*.
- CENEPRED. (2022). ESCENARIOS DE RIESGO POR BAJAS TEMPERATURAS DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO.
- Chambilla, A. (2018). *Evaluación de Aditivos Impermeabilizantes para la Eficiencia del Concreto en Estructuras Hidráulicas del Distrito Curibaya – Candarave – Tacna, 2018*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Chávez, V. (2021). *Influencia De La Permeabilidad Y Resistencia En La Reactividad Álcali Agregado Del Concreto*. Chihuahua, Mexico : Universidad Autónoma de Chihuahua.
- Cordero, G., Cárdenas, J., & Rojas, J. (n.d.). *Diseño de mezclas de Concreto aplicando el método ACI*.
- Coronel, K., & Balseca, E. (2009). Ataque de los sulfatos a los hormigones de Alto Desempeño. *Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra*.

- Cusihuaman, A. (2022). *Efecto del Aditivo Impermeabilizante en las Propiedades Mecánicas del Concreto con Cemento Portland del Tipo I Y Tipo Ico*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Delgado et al. (2022). Caracterización fisicoquímica de suelos salinos agrícolas, en la localidad de Chicavasco, estado de Hidalgo, México. *South Florida*.
- Díaz, J. (2019). *Alteraciones Que Producen El Ciclo Hielo – Deshielo Y Los Ataques Por Sulfato En El Concreto*. Tunja: Universidad Santo Tomás.
- DIN. (2023). Estructuras de Concreto, planificación y diseño DIN 1045-1:2023-08.
- GORE Cusco. (2023).
- GORE Cusco. (2023). *DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE SUS BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA O DE ACCESO A SERVICIOS*. Cusco: Gobierno Regional de Cusco.
- Granados, J. D. (2017). *Grado De Presencia Del Sulfato Con La Resistencia A La Compresión Del Concreto, En La Ciudad De Huaraz, 2016 - 2017*. Huaraz: Universidad Nacional De Ancash Santiago Antúnez De Mayolo.
- Hernández , R., Fernández, C., & Baptista , M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernandez et al. (2018). Resistencia a la Compresión del concreto.
- INEI. (1999). *Proyectos INEI Conociendo Cusco*. Retrieved from <https://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0274/indice.htm>
- INEI. (2024). *Estadística Poblacional*.
- INGEMET. (2003). MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN CUADRÁNGULO DE ABANCAY (28-q).

- Jiménez, K. E., & Lozano, H. (2018). *Análisis De La Influencia De Sulfatos Y Cloruros En El Deterioro De Estructuras En Concreto En Zonas Costeras Del Atlántico Colombiano*. Bogotá, Colombia: Universidad Católica De Colombia.
- Lapa, J., & Rueda, J. W. (2021). *Propiedades mecánicas del concreto  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> utilizando cemento tipo HS expuesto a sales, cloruros y sulfatos, Punta Hermosa, Lima 2021*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.
- Matallana, R. (2019). *EL CONCRETO, FUNDAMENTOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS*. Corona.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: El Peruano.
- Neville, A. (2013). *Tecnología del Concreto*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Niño, A. (2022). *Evaluación del efecto de la concentración de sulfatos en el agua de mezcla sobre las propiedades mecánicas del concreto*. Bogota: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Olortegui, & Guiller. (2021). *Evaluación del comportamiento por ataque de sulfato del concreto elaborado con cemento tipo V y HS*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Olórtégui, L., & Guiller, A. (2021). *Evaluación del comportamiento por ataque de sulfato del concreto elaborado con cemento tipo V y HS*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ponce, E. S. (2016). *Estudio Comparativo Del Efecto De Aditivos Chema Y Sika Aceleradores De Fragua En La Ciudad Del Cusco En Concretos Expuestos A Clima Alto Andinos*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Pulgar, J. (1996). *Geografía del Perú*. Lima: Peisa.
- R.N.E E.060. (2009). *Norma Concreto Armado*.

- República, C. d. (2010). *Ley de Promoción para el Desarrollo de Actividades Productivas en*. Lima.
- Rodríguez, S. (2016). *Estudio de Hormigones Impermeables, según el Origen local de Materiales y la adición de Aditivo Impermeabilizante*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Santos, A. (2023). *Rendimiento De Hormigones Con Aditivos Cristalizantes Expuestos A Sulfatos*. Brazil: Universidad Federal de Minas Gerais.
- SEMANHI. (2023, 09 02). *Heladas y Frijes*. Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-frijes-preguntas>
- SENAMHI. (2012). Caracterización climática de las regiones Apurímac y Cusco. *Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC - Perú*.
- SENAMHI. (2024). *Datos Hidrometeorológicos*. Perú.
- SENCICO. (2020). *NTE E.060: Concreto Armado*. Lima: El Peruano.
- SIKA PERÚ S.A. (2013). *Sika Informaciones Técnicas Aditivos para Concreto*. Lima: SIKA PERÚ.
- Silva, A., & et al. (2023). *FUNDAMENTOS DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERIA CIVÍL*. Bogota: ECOE EDICIONES.
- Skalny et al. (1996). DEF: Una de Ataque por Sulfatos.
- Ttito, J. A., & Huayta, F. Y. (2022). *Análisis Del Tiempo De Fragua Y Resistencia A La Compresión De Un Concreto Con Aditivo Acelerador Elaborado A Diferentes Temperaturas, Cusco - 2022*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Vargas, C. (2019). LA AUTOCONSTRUCCIÓN EN LA PERIFERIA DE CUSCO. UN ESTUDIO DE ENFOQUE MIXTO.
- Vidaud, E. (2014). Control de calidad del Concreto. *Construcción y Tecnología en concreto*.

YURA S.A. (2024). *FICHA TÉCNICA 2023 / V.1*. Arequipa: YURA.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). Norma técnica de edificación E.060: Concreto armado. Lima: El Peruano.

Sika®. (2019). SikaCem®-1 Fiber. Lima: Sika®.

Yura. (2014). Cemento Portland puzolánico Yura IP - alta durabilidad. Arequipa: Yura.

Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.

Vilanova, Á., J., y Agranati, G. (2010). Evaluación de los modelos ACI-08, Eurocódigo 2 y EHE08, para estimar las propiedades mecánicas del hormigón autocompactable. *Informes de la construcción*, 43-55.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). Pruebas de resistencia a la compresión del concreto. *Construcción y tecnología*, 19-22.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes