



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



**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE
Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO
EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE
Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO
EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:

M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1322-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 20 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - C - 5937 presentado por el (la) Bachiller: **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLÁSTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

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

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

RESUELVE:

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

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 31 de octubre del 2025
- * **HORA** : 14:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730cc.
Archivo
interesado (a)UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"****RESOLUCIÓN DECANAL N° 1085-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7954, presentado por el señor (a) **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1027-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 1602-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 1027-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 1602-2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, designado al señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA MATERIALES**, se le asigna como:

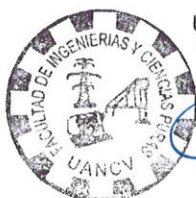
ASESOR: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



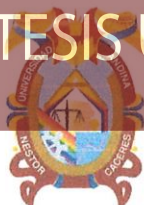
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CS. PURAS

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



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

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1602-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 16547 por el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1359 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 282-2024 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 282-2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la, **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASDr. MILTHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. Efraín Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1027-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 16 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 12466, presentado el señor (a) **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 956-2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 283-2024 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 283-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL**.

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

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

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

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

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. EFRAIN PARILLO SOSA**.

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

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 2024
Interesado (a)UNIVERSIDAD NARIÑO NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURASD. MATHON QUISPE HUANCA
DECANO
CIP. 47790UNIVERSIDAD NARIÑO NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS
Dr. Efraim Parillo Sosa
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Andina Nestor
Caceres Velasquez

Trabajo del estudiante

4%

2

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

5

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

6

vriunap.pe

Fuente de Internet

1%

7

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%



Metadatos Complementarios UANCV

Título de la tesis	
INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41915951
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0008-9629-4109
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4595-7589
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02306659
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: San Miguel - Latitud: S 15° 29' 27'' - Longitud: O 70° 07' 37''  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1aOHigBnHsg4Cxx4CaIKkf_gPSrC0t0c&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2024 – Octubre 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería de la construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03
https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	



UNIVERSIDAD ARZOBISPO "NÉSTOR CÁCEMOS MELÉNDEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ, identificado con DNI
Nro. 41915951, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA CIVIL

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

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y
NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS
DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

Asesorado por: M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

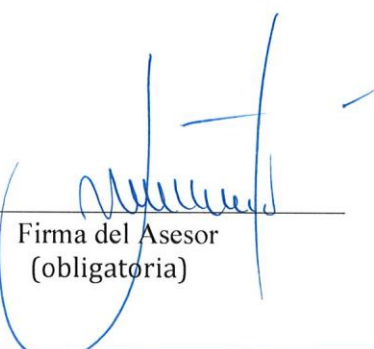
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales,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

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

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

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

Juliaca 04 de NOVIEMBRE del 2025


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

En primer lugar, quiero dar las gracias a Dios, que me ha dado la fortaleza y la perseverancia necesarias para llevar a cabo esta tarea.

A mis padres, cuyo amor inquebrantable, sus sacrificios y su apoyo sentaron las bases de mi trayectoria educativa.

Gracias a mi familia por estar a mi lado en los buenos y en los malos momentos, por ayudarme siempre a recuperar el rumbo cuando me sentía desanimado.

Este éxito también es vuestro, así que gracias a todos los que habéis creído en mí.



AGRADECIMIENTO

A mis maravillosos padres, que siempre han estado a mi lado en cada paso del camino y me han enseñado los principios que me han convertido en quien soy hoy, les estaré eternamente agradecido.



CONTENIDO GENERAL

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

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática	15
1.2. Planteamiento del problema	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. Justificación de la investigación.....	17
1.3.1. Justificación técnica	17
1.3.2. Justificación metodológica	18
1.3.3. Justificación social	18
1.3.4. Justificación ambiental	18
1.3.5. Justificación económica	19



1.4. Objetivo general.....	19
1.4.1. Objetivos específicos	19
1.5. Hipótesis de la investigación.....	20
1.5.1. Hipótesis general	20
1.5.2. Hipótesis específicas	20
1.6. Variables de la investigación	20
1.7. Operacionalización de variables	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.1.3. Antecedentes locales	26
2.2. Marco teórico	27
2.2.1. Concreto	27
2.2.2. Componentes del concreto	29
2.2.3. Diseño de mezclas.....	50
2.2.4. Temperaturas de congelamiento.....	52
2.2.5. Propiedades mecánicas del concreto	55
2.2.6. Ensayo del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo..	57
2.3. Marco conceptual	59



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación	62
3.2. Tipo de investigación	62
3.3. Nivel de investigación	63
3.4. Diseño de la investigación	63
3.5. Población y muestra	64
3.5.1. Población	64
3.5.2. Muestra	64
3.6. Técnicas e instrumentos	65
3.7. Procedimiento para la recolección de datos	65
3.7.1. Ubicación y extracción de los agregados	65
3.7.2. Ensayos de laboratorio	66
3.7.3. Diseño de mezclas	75
3.7.4. Proceso de congelamiento y deshielo	81
3.8. Método de análisis de datos	82
3.9. Aspectos éticos	83

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la investigación	84
4.1.1. Resultados de los agregados	84



4.1.2. Resultados para el diseño de mezclas	86
4.1.3. Ensayo del asentamiento.....	87
4.1.4. Resultados de resistencia a compresión	90
4.1.5. Resistencia a compresión con aditivo superplasticante	93
4.1.6. Resistencia a compresión con aditivo nanosilice	96
4.2 Discusión	99
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFÍA	109
ANEXOS	112



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	21
Tabla 2 Contenido de humedad.....	30
Tabla 3 Tamices para la granulometría del agregado fino.....	36
Tabla 4 Tamices normalizados para el agregado grueso	38
Tabla 5 Parámetros para el agua de concreto.....	42
Tabla 6 Tipos de aditivos	43
Tabla 7 Calificación del slump	51
Tabla 8 Cantidades de especímenes a realizar.....	65
Tabla 9 Cantidad de materiales corregidos por m ³	86
Tabla 10 Resumen del asentamiento de las muestras	87
Tabla 11 Resistencia promedio de concreto normal expuestos a congelamiento	90
Tabla 12 Resistencia promedio de concreto normal con 1.5% aditivo superplasticante expuestos a congelamiento	93
Tabla 13 Resistencia promedio de concreto normal con 1.5% aditivo nanosilice expuestos a congelamiento	96



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Concreto fluido	29
Figura 2 Tipos de cementos	33
Figura 3 Agregados	35
Figura 4 Agua en la mezcla del concreto	42
Figura 5 Microfibra de partículas de nanosilice	46
Figura 6 Incidencia de los ciclos de congelamiento y deshielo en el comportamiento del concreto	54
Figura 7 Tipos de rotura	56
Figura 8 Resistencia a la compresión del concreto	57
Figura 9 Concreto sometido a altas temperaturas.....	58
Figura 10 Muestra en el horno	67
Figura 11 Peso de la muestra más picnómetro	69
Figura 12 Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado.....	73
Figura 13 Gradación de los agregados	75
Figura 14 Procedimiento de simulación de condiciones de congelamiento	82
Figura 15 Resultados de revenimiento	88
Figura 16 prueba de asentamiento.....	89
Figura 17 Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado ..	91
Figura 18 Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con y sin exposición a ciclos de hielo-deshielo	92
Figura 19 Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado con 1.5% aditivo superplastificante sometidos a ciclos de hielo-deshielo	94



Figura 20 Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con 1.5% aditivo superplasticante sometidos a ciclos de hielo-deshielo	95
Figura 21 Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado con 1.5% aditivo nanosílice sometidos a ciclos de hielo-deshielo	97
Figura 22 Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con 1.5% aditivo nanosílice sometidos a ciclos de hielo-deshielo	98



RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo general determinar la influencia de la adición del aditivo superplastificante y nanosílice en las propiedades mecánicas del concreto sometido a ciclos de hielo y deshielo en el distrito de San Miguel. La metodología empleada fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicado y nivel explicativo, con diseño experimental. Se elaboraron 27 probetas cilíndricas de concreto distribuidas en tres grupos: concreto normal (patrón), concreto con 1.5% de superplastificante y concreto con 1.5% de nanosílice, todas sometidas a ciclos de congelamiento (-0°C a -15°C). Se evaluó la trabajabilidad mediante el ensayo de asentamiento y la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días según normas ASTM. Los resultados evidenciaron que el concreto con nanosílice alcanzó la mayor resistencia con 239.81 kg/cm^2 a los 28 días, superando en 12.3% al concreto con superplastificante (213.63 kg/cm^2) y en 62.5% al concreto normal (147.57 kg/cm^2). La trabajabilidad se mantuvo adecuada en ambos aditivos, con asentamientos de 4 pulgadas para el superplastificante y $3\frac{1}{2}$ pulgadas para la nanosílice. Se concluye que la incorporación de aditivos superplastificante y nanosílice al 1.5% mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto bajo ciclos de hielo-deshielo, siendo la nanosílice el aditivo más efectivo debido a sus mecanismos sinérgicos de densificación, efecto puzolánico y reducción de porosidad, validando su aplicación en construcciones de zonas altoandinas con temperaturas extremas.

Palabras claves: Concreto, aditivo superplastificante, nanosílice, resistente a congelamiento.

ABSTRACT

The overall objective of this study was to determine the influence of adding a superplasticizer and nanosilica on the mechanical properties of concrete subjected to freeze-thaw cycles in the district of San Miguel. The methodology employed was quantitative, applied, and explanatory in nature, with an experimental design. Thirty-six cylindrical concrete specimens were prepared and divided into three groups: normal concrete (control), concrete with 1.5% superplasticizer, and concrete with 1.5% nanosilica, all subjected to freeze-thaw cycles (-0°C to -15°C). Workability was evaluated using the slump test, and compressive strength was measured at 7, 14, and 28 days in accordance with ASTM standards. The results showed that the concrete with nanosilica achieved the highest strength at 239.81 kg/cm^2 at 28 days, exceeding the concrete with superplasticizer (213.63 kg/cm^2) by 12.3% and the normal concrete (147.57 kg/cm^2) by 62.5%. Workability remained adequate for both additives, with slump values of 4 inches for the superplasticizer and $3\frac{1}{2}$ inches for the nanosilica. It is concluded that the incorporation of 1.5% superplasticizer and nanosilica additives significantly improves the mechanical properties of concrete under freeze-thaw cycles, with nanosilica being the most effective additive due to its synergistic mechanisms of densification, pozzolanic effect, and porosity reduction, validating its application in constructions in high-Andean areas with extreme temperatures.

Keywords: Concrete, superplasticizer additive, nanosilica, freeze-thaw resistant.

INTRODUCCIÓN

Las regiones andinas ubicadas entre los 3000 y 5000 m.s.n.m., como la zona de Juliaca en Puno, se caracterizan por condiciones climáticas extremas que incluyen temperaturas bajo cero, ciclos de congelamiento nocturno y variaciones térmicas drásticas a lo largo del día (Dionicio, 2019). Este contexto representa un desafío significativo para la durabilidad del hormigón, material cuyo uso en la construcción civil ha incrementado considerablemente en los últimos años.

La denominada teoría de la presión osmótica, planteada por Powers (1975), ha permitido comprender los efectos del congelamiento sobre el hormigón. De acuerdo con Pigeon y Pleau (1995), la acción del hielo se manifiesta mediante microfisuras, fracturas internas y desprendimientos superficiales, producto de las presiones de tracción generadas en el interior del material durante los ciclos de hielo-deshielo. Este fenómeno deteriora progresivamente el proceso de endurecimiento del hormigón, reduciendo sus propiedades mecánicas y comprometiendo su calidad y vida útil.

Las consecuencias de este deterioro son evidentes en infraestructuras propias de las zonas andinas, tales como pavimentos, revestimientos de canales y superestructuras de puentes, las cuales frecuentemente no alcanzan su vida útil proyectada, afectando negativamente la relación costo-beneficio de los proyectos. Ante esta realidad, resulta indispensable que el diseño del hormigón incorpore criterios de durabilidad frente a agentes agresivos y condiciones ambientales adversas, en conjunto con los parámetros de resistencia estructural,



a fin de garantizar la funcionalidad, seguridad y estética de las obras a lo largo del tiempo.

En los últimos años, el avance tecnológico en el sector de la construcción ha impulsado una creciente investigación orientada a comprender el comportamiento mecánico y físico de los materiales, así como a optimizar sus costos de producción. En este contexto, la nanotecnología ha emergido como una disciplina innovadora que estudia y manipula materiales a escala nanométrica equivalente a la millonésima parte de un milímetro abriendo nuevas posibilidades para mejorar el rendimiento de los materiales constructivos.

Dentro de las aplicaciones nanotecnológicas en la construcción, la nanosílice ocupa un lugar destacado. Al igual que la microsílice, cumple funciones similares a las del humo de sílice, con la diferencia de que se basa en sílice amorfa a escala nanométrica, lo que la convierte en una alternativa más segura tanto para el ecosistema como para la salud de las personas, al no representar riesgo de inhalación. Desde el punto de vista teórico, sus propiedades puzolánicas contribuyen a la densificación de la matriz cementante, reduciendo la porosidad del material e incrementando de manera notable su resistencia mecánica y durabilidad.

La investigación se desarrolla a lo largo de cuatro capítulos interrelacionados. El primero aborda el planteamiento del problema, incluyendo la justificación del estudio, los objetivos generales y específicos, las hipótesis de investigación y las variables analizadas. El segundo capítulo sienta las bases teóricas del trabajo, introduciendo conceptos fundamentales sobre el hormigón,



las puzolanas, los aditivos y los estudios previos realizados en torno a su aplicación en la construcción.

La recopilación de datos, los trabajos de laboratorio y los ensayos de resistencia a la compresión se tratan en profundidad en el tercer capítulo, dedicado a esta técnica. Por último, en el cuarto capítulo se presentan y analizan los resultados del estudio, en el que se comparan muestras de hormigón fabricadas con diferentes cantidades de nanosílice con la mezcla de referencia habitual. A continuación, se utilizan los resultados para extraer conclusiones y formular recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática

La durabilidad de las estructuras de hormigón constituye un problema de naturaleza multifactorial, en el que intervienen aspectos vinculados al diseño estructural, los procesos de ejecución, la calidad de los materiales empleados, las condiciones de uso y mantenimiento, así como las características del entorno en el que se emplazan las obras. A pesar de los significativos avances logrados en las últimas décadas en materia de investigación sobre durabilidad, este campo continúa presentando importantes desafíos que requieren mayor profundización.

Si bien los estudios sobre los mecanismos químicos que originan el deterioro del hormigón han alcanzado un notable desarrollo, los fenómenos mecánicos asociados —como la expansión volumétrica repentina provocada por determinadas reacciones y el consecuente agrietamiento y pérdida de resistencia del material— han recibido una atención comparativamente menor

hasta fechas recientes. La amplia casuística de patologías registradas en estructuras de hormigón armado y pretensado sometidas a ciclos de hielo-deshielo evidencia la urgencia de continuar investigando en este ámbito.

En el contexto de las zonas altoandinas del Perú, el hormigón se encuentra expuesto a condiciones ambientales particularmente agresivas, caracterizadas por inviernos de bajas temperaturas extremas concentradas especialmente en los meses de mayo, junio y julio y por la ausencia generalizada de medidas de protección e impermeabilización en las construcciones existentes, factores que incrementan considerablemente su vulnerabilidad ante los efectos del congelamiento y deshielo cíclico.

La nanociencia y la nanotecnología han protagonizado una auténtica transformación científica en el siglo XXI, generando avances de gran trascendencia en múltiples sectores. La ciencia de los materiales aplicada a la ingeniería civil constituye uno de los campos que más ha se beneficiado de estos desarrollos (Aguilar, 2007, p. 1).

En el ámbito específico de la construcción, la nanosílice se posiciona como una de las aplicaciones nanotecnológicas de mayor relevancia. Sus propiedades excepcionales para optimizar las características del hormigón y los morteros han sido ampliamente respaldadas por la literatura técnica especializada a nivel mundial. En la búsqueda de mezclas más resistentes y duraderas, diversos estudios han explorado nuevas combinaciones de materiales, analizando sus procesos de hidratación, trabajabilidad, resistencia, porosidad y permeabilidad (Jo et al., 2007).

En este contexto, el objetivo principal de la investigación es desarrollar una mezcla de hormigón con nanosílica añadida para comprobar cómo afecta esta a la resistencia del material frente a los ciclos de congelación-descongelación.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye de la adición del aditivo superplastificante y nanosílice en las propiedades mecánicas del concreto a ciclos de hielo y deshielo en el distrito de San Miguel?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo influye en la trabajabilidad del concreto adicionando aditivo superplastificante y nanosílice en diferentes dosificaciones?
2. ¿Cuál es la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo superplastificante sometido a ciclos de hielo y deshielo?
3. ¿Cuál es la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo nanosílice sometido a ciclos de hielo y deshielo?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación técnica

Para llenar un vacío en la bibliografía, este estudio investigará cómo afecta el aditivo superplastificante y nanosílice a la resistencia del hormigón expuesto a ciclos de congelación-descongelación. Para ello, se llevará a cabo un ensayo de laboratorio basado en análisis físicos con el fin de investigar el

comportamiento y el mecanismo de deterioro de muestras de hormigón tratadas con nanosílice a ciclos de hielo y deshielo.

1.3.2. Justificación metodológica

La investigación utilizará un método cuantitativo y un diseño experimental para realizar ensayos de compresión en probetas cilíndricas de hormigón que contengan diferentes concentraciones de superplastificante y nanosílice. Estos ensayos se realizarán a los 7, 14 y 28 días después del curado, de acuerdo con las normas técnicas vigentes. Para comprobar las hipótesis y determinar la viabilidad de los objetivos propuestos, es necesario recopilar datos, analizarlos estadísticamente e interpretarlos. Para que el estudio tenga valor científico, es esencial obtener resultados reproducibles y fiables, y esta técnica lo permite.

1.3.3. Justificación social

Debido a su importante efecto social, el uso de hormigón con aditivo nanosílice y superplastificante en el distrito de San Miguel está justificado. Los puentes, carreteras y edificios construidos con este hormigón serán más resistentes a las grietas y a la desintegración por el hielo en una zona donde las bajas temperaturas son habituales. El resultado es concretos mejorados durante todo el año y viviendas que duran décadas.

1.3.4. Justificación ambiental

El uso de esta tecnología por parte de San Miguel está respaldado por preocupaciones medioambientales, en particular por la sostenibilidad del material a lo largo de su ciclo de vida. La capacidad del hormigón para soportar ciclos de congelación-descongelación es la principal ventaja medioambiental.

Los puentes, las aceras y los edificios tienen una vida útil más larga cuando son capaces de soportar mejor los efectos de la intemperie. El hormigón duradero alivia la carga sobre los vertederos y los ecosistemas locales al reducir la frecuencia de las sustituciones y reparaciones, lo que a su vez minimiza la generación de residuos y (RCD).

1.3.5. Justificación económica

A largo plazo, el ahorro en los costes de mantenimiento y sustitución de las infraestructuras cubrirá con creces la inversión inicial en aditivos, por lo que añadir nanosílice (NS) y superplastificante (SP) al hormigón para el distrito de San Miguel está justificado desde el punto de vista económico.

1.4. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición del aditivo superplastificante y nanosílice en las propiedades mecánicas del concreto a ciclos de hielo y deshielo en el distrito de San Miguel.

1.4.1. Objetivos específicos

1. Evaluar la trabajabilidad del concreto adicionando aditivo superplastificante y nanosílice en diferentes dosificaciones.
2. Determinar la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo superplastificante sometido a ciclos de hielo y deshielo.
3. Determinar la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo nanosílice sometido a ciclos de hielo y deshielo.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La adición del aditivo superplastificante y nanosílice mejorará significativamente la resistencia del concreto a los ciclos de hielo y deshielo.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. La adición del aditivo superplastificante y nanosílice, hacen que el concreto recién mezclado sea más fluido.
2. El aditivo superplastificante, al mejorar la trabajabilidad, incrementará la resistencia a compresión del concreto sometido a ciclos hielo y deshielo en comparación con un concreto sin aditivo.
3. La adición del aditivo nanosílice incrementa la resistencia a compresión del concreto sometido a ciclos de hielo y deshielo en comparación con un concreto sin aditivo.

1.6. Variables de la investigación

a) Variable independiente

- Aditivo superplastificante y nanosílice

Concepto: La fluidez y la resistencia del hormigón se mejoran añadiendo un aditivo superplastificante y nanosílice. Al dispersar las partículas de cemento, los superplastificantes hacen que el material sea más maleable, mientras que la nanosílice repara cualquier agujero en la mezcla y se combina con el cemento para crear un gel de silicato cálcico más

resistente y duradero. En el hormigón de alto rendimiento, a menudo se combinan ambos.

Indicador: Porcentajes (0%, 1.5%AS y 1.5%AN).

b) Variable dependiente:

- Propiedades mecánicas del concreto

Concepto: Los megapascuales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²) miden la resistencia a la compresión, la cualidad más importante del hormigón.

Indicadores: Resistencia en Kg/cm² a los 7, 14 y 28 días.

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Aditivo superplastificante y nanosilice	Porcentajes de adición	1.5% AS, 1.5% AN
Variable Dependiente: Propiedades mecánicas del concreto	Resistencia ($f_c' = 210 \text{ kg/cm}^2$)	Resistencia a 7, 14 y 28 días



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Páez et al. (2009), en su artículo publicado en revista científica titulado "Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (caso Tunja)", analizaron los efectos del congelamiento y descongelamiento cíclico sobre las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en condiciones climáticas de helada. Para ello, trabajaron con veinticuatro especímenes evaluados bajo diferentes relaciones agua/cemento y tipos de curado, simulando artificialmente temperaturas bajo cero mediante el uso de congeladoras, alternando fases de congelación nocturna con descongelación diurna de manera continua. Los resultados evidenciaron que las probetas con relación a/c de 0,7 presentaron fisuras severas e incluso fractura total, mientras que las de relación a/c de 0,5 mostraron grietas leves y descascaramiento superficial. En ambos casos, la absorción y porosidad se incrementaron progresivamente, y la

resistencia de las probetas con mayor relación a/c se redujo aproximadamente un 14% respecto a las de menor relación. Asimismo, se determinó que el curado continuo bajo ciclos de hielo-deshielo resultó perjudicial en comparación con el curado a la intemperie con escasas precipitaciones.

En su estudio titulado Modificación de las propiedades de las matrices cementosas mediante la adición de partículas de nanosílice, Gómez y Castillo (2016) analizaron el impacto de añadir nanopartículas de sílice a las matrices de cemento Portland, centrándose específicamente en cómo afectaba esto a las propiedades químicas y mecánicas del material. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma de Nuevo León, en México. Descubrieron que, en comparación con la mezcla de control, el uso de dosis de nanosílice que oscilaban entre el 0,30 % y el 5 % en peso del cemento aumentaba la resistencia a la compresión en un 43 % tras 3 días, un 11 % tras 7 días y un 17 % tras 28 días. Según estos datos, la incorporación de nanosílice al hormigón es una forma excelente de aumentar su resistencia. Esto es especialmente cierto en regiones con ciclos de congelación-descongelación, ya que reduce la relación agua-cemento sin disminuir las resistencias previstas.

Zanon, Schmalz y Ferreira (2018), investigadores del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Federal de São Carlos, Brasil, estudiaron la influencia de la adición conjunta de nanosílice y superplastificante sobre diversas propiedades del hormigón. A partir de muestras elaboradas con distintas proporciones de ambos aditivos, y evaluadas a 1, 7 y 28 días de edad, concluyeron que la incorporación de nanosílice en determinados porcentajes genera un incremento significativo en la resistencia a la compresión respecto al

hormigón de referencia, al tiempo que reduce la demanda de agua de la mezcla y mejora las características mecánicas del material.

Díaz y Torres (2020) analizaron el impacto de diferentes dosificaciones de superplastificantes en las características físicas y mecánicas del hormigón hidráulico, tanto en estado fresco como endurecido, utilizando áridos silíceos, en su tesis titulada «Análisis de diferentes dosificaciones de superplastificantes en las propiedades mecánicas de mezclas de hormigón hidráulico basadas en diferentes tamaños máximos nominales de áridos gruesos silíceos», realizada en la Universidad de Cartagena, en Colombia. A partir de su investigación, sabemos que los áridos de piedra influyen significativamente en las propiedades del hormigón, que los áridos silíceos presentan una zona de interfaz débil que reduce su contribución a la resistencia, y que el uso de dosis bajas de superplastificante mejora el rendimiento general de la mezcla.

2.1.2. Antecedentes nacionales

García (2020) se propuso investigar el comportamiento del hormigón en estado fresco y endurecido cuando se sustituía parcialmente el cemento por microsilíce y superplastificante en su trabajo de fin de grado titulado «Análisis del comportamiento del hormigón de alta resistencia con la adición de microsilíce y superplastificante para determinar sus propiedades físicas y mecánicas, Lima - 2020», realizado en la Universidad César Vallejo. Mediante el uso de una metodología cuantitativa y un diseño experimental de nivel explicativo, se generaron 52 probetas de laboratorio y sus correspondientes fichas técnicas. Al determinar la dosis ideal para su uso en proyectos de construcción, los resultados demostraron una relación directamente proporcional con la

resistencia a la compresión con un 10 % de microsílice y un 2,2 % de superplastificante.

Escobedo (2014) investigó las propiedades del hormigón de alta resistencia con diferentes contenidos de nanosílice y un superplastificante constante del 1 % en un estudio llevado a cabo en la Universidad Nacional de Cajamarca. Se determinó que la dosis adecuada de nanosílice era del 1,5 %, según los ensayos de laboratorio realizados a los 7 y 28 días de maduración. A los 7 días, la resistencia era de 619,97 kg/cm², y a los 28 días, de 785,30 kg/cm², lo que supone un aumento del 15 % en comparación con el hormigón convencional.

Roldán y Vargas (2018), de la Universidad Privada Antenor Orrego, investigaron el uso de la nanosílice GAIA y el superplastificante Sika Viscocrete SC-50 en la formulación de mezclas de hormigón de alta resistencia. Con el fin de evaluar las características mecánicas de las probetas a los 3, 7 y 28 días, utilizaron el enfoque de la ACI para crear probetas con dosis de nanosílice del 0,30 %, 0,50 % y 0,70 % en relación con el contenido de cemento. En todas las circunstancias, los resultados fueron positivos, y se determinó que una dosis del 0,50 % de nanosílice es el porcentaje ideal, ya que mejora significativamente tanto el hormigón recién mezclado como el curado.

Aguilar (2015), en su estudio realizado en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, investigó el desempeño de concretos de alta resistencia con adición de nanosílice y superplastificante, evaluando probetas a edades de 1, 3, 7, 28 y 90 días. El valor máximo de resistencia obtenido en la rotura de probetas alcanzó los 1282 kg/cm², confirmando que la incorporación de nanosílice permite

incrementar significativamente la resistencia del concreto y posibilita ajustes favorables en la relación agua/cemento de la mezcla.

2.1.3. Antecedentes locales

El objetivo principal de la tesis de Larico (2019), que defendió en la Universidad Peruana Unión y se tituló Influencia del uso de nanosílice en la resistencia a la compresión del hormigón simulando condiciones de curado in situ en la ciudad de Juliaca, 2018, era comparar la resistencia a la compresión del hormigón convencional con la del hormigón modificado con nanosílice, con el fin de imitar las condiciones reales de curado in situ. Se utilizó una técnica de curado que consistió en rociar la mezcla dos veces al día durante siete días, con dosis de nanosílice del 0,5 %, 1,0 % y 1,5 %. Los resultados demostraron que el hormigón convencional no alcanzó la resistencia de diseño en un 25,19 %, pero las mezclas mejoradas con nanosílice la superaron en un 16,35 %, un 47,39 % y un 40,26 %, respectivamente. En términos de eficacia y rendimiento, se determinó que la dosis del 0,5 % era la óptima.

Gonzales (2018), en su tesis "Evaluación de la eficiencia del uso de aditivos en la producción de concreto a bajas temperaturas en la región Puno", analizó el comportamiento del concreto ante la adición de aditivos incorporadores de aire bajo condiciones climáticas de helada propias de la región. Mediante un diseño de investigación explicativo, cuantitativo y no experimental, se trabajó con cuatro grupos de 15 briquetas cada uno: un grupo control sin aditivo y tres grupos con distintos tipos de aditivos comercializados en Juliaca. Las muestras fueron elaboradas y curadas bajo temperaturas de congelamiento nocturno, evaluándose la resistencia a la compresión axial a los

7, 14 y 28 días. Los resultados confirmaron que el empleo de aditivos incorporadores de aire mejora significativamente el desempeño del concreto producido en condiciones de helada, tanto en estado fresco como endurecido, con una relación costo-beneficio favorable frente al concreto sin aditivo.

La tesis de 2018 de Pachacutec y Vilca, titulada Estudio comparativo de la determinación de las propiedades de resistencia del hormigón utilizando microsílice y nanosílice con áridos de Cutimbo (Puno), se elaboró en la Universidad Nacional del Altiplano. Los autores compararon la microsílice y la nanosílice en cuanto a sus efectos sobre la resistencia del hormigón y las consecuencias económicas de dicha comparación. Con el fin de crear un hormigón de alta resistencia adecuado para su uso en proyectos de construcción, los resultados mostraron que una dosis del 1 % de nanosílice era la alternativa más rentable y equilibrada.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Concreto

El cemento, el agua, los áridos y, en ocasiones, otros aditivos se mezclan en proporciones precisas para formar el hormigón. Es ideal para la construcción, ya que al principio es un material maleable y plástico, pero posteriormente se endurece hasta convertirse en una sustancia rígida con propiedades aislantes y de soporte de cargas (Pasquel Carbajal, 1998).

Suponiendo que la mezcla se pueda compactar adecuadamente, cuanto menor sea el contenido de agua, mayor será la calidad del hormigón. La vibración hace que incluso las mezclas más rígidas sean vertibles; sin embargo, utilizar menos

agua para mezclar hace que las mezclas sean más rígidas (más secas). Por lo tanto, la compactación por vibración es una excelente forma de obtener un hormigón de mejor calidad. La adición de aditivos químicos, normalmente en forma líquida, durante el dosificado puede modificar las características tanto del hormigón fresco (plástico) como del endurecido. Muchas propiedades del hormigón, tanto fresco como endurecido, pueden modificarse con el uso de aditivos químicos. Entre ellas se incluyen, entre otras: (1) ajuste del tiempo de fraguado o endurecimiento, (2) reducción de la demanda de agua, (3) mejora de la trabajabilidad (maniobrabilidad, plasticidad), (4) introducción controlada de aire, y (5) ajustes adicionales de las propiedades (PCA, 2004)).

Según Torres (2004), el hormigón es un material convencional que se produce mediante la combinación de componentes (es decir, áridos, agua y cemento), a los que se añade un aditivo como cuarto componente y aire como quinto componente durante el mezclado. Según la norma NTP 339.047 (2006), este proceso implica una interacción química entre el agua y el cemento. A medida que el cemento fragua, las partículas finas y gruesas de los áridos se unen entre sí, y el cemento actúa como aglutinante.

La mezcla de los componentes forma una masa maleable y flexible que es fácil de moldear y comprimir; con el paso del tiempo, esta masa se vuelve más rígida y comienza a comportarse y parecer una sustancia resistente; finalmente, se solidifica como un elemento.

Figura 1*Concreto fluido*

Nota: <https://www.watt-watchers.com/4-alternativas-al-concreto>

2.2.2. Componentes del concreto

El hormigón moderno está constituido por cuatro componentes fundamentales: el cemento, el agua, los áridos y los aditivos, siendo el aire un elemento adicional presente en la mezcla. Si bien históricamente los aditivos fueron considerados elementos prescindibles, en la actualidad han adquirido el estatus de ingrediente indispensable, dado que su incorporación ha demostrado mejorar de manera significativa la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del material. Asimismo, su empleo repercute favorablemente en la reducción de costos asociados a la mano de obra, los equipos de colocación y compactación, las intervenciones de reparación y mantenimiento, e incluso el consumo de cemento (Pasquel Carbajal, 1998).

Tabla 2*Contenido de humedad*

Componente	Volumen absoluto (%)
Aire	1% - 3%
Cemento	7% - 15%
Agua	15% - 22%
Agregados	60% - 75%

Nota: (Pasquel, 2018)

2.2.2.1. Cemento

El cemento es un material finamente pulverizado cuya característica esencial radica en su capacidad de fraguar y endurecer al ser combinado con agua en la proporción adecuada. Esta reacción genera una pasta conglomerante que alcanza su endurecimiento tanto en presencia de agua como en contacto con el aire, produciendo compuestos de gran estabilidad (Rivva, 2010).

Cuando dicha pasta se incorpora a los agregados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra machacada o pedrejón, actúa como elemento aglutinante que une y cohesiona todos los componentes, dando lugar al concreto. Este material, conocido mundialmente por su versatilidad y amplísima aplicación, se ha consolidado como el insumo de construcción más empleado a nivel global (PCA, 2004).

Cemento Portland = Clinker Portland + Yeso

El cervecero estadounidense Joseph Aspdin la utilizó por primera vez en 1824. Su nombre se debe a que se parece mucho a las rocas de la costa de la isla de Portland, en Dorset.

A. Clasificación del cemento portland

Si bien el cemento portland ha sido tradicionalmente concebido como un material de carácter genérico, la necesidad de garantizar propiedades específicas en el concreto endurecido tales como resistencia, contracción, permeabilidad y durabilidad ha impulsado el desarrollo de una amplia variedad de tipos de cemento. Estos se encuentran clasificados y normalizados bajo los lineamientos de la Norma Internacional ASTM 150 y la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, cuyas categorías se describen a continuación.

Tipo I: Denominado cemento portland ordinario, constituye el tipo de mayor uso en la construcción en general. Su aplicación es adecuada para obras que no se encuentren expuestas a la acción de sulfatos presentes en el suelo o en aguas subterráneas, condición para la cual existen tipos específicos de cemento.

Tipo II: Conocido como cemento portland modificado, presenta un calor de hidratación intermedio entre los tipos I y IV, con una velocidad de desarrollo de resistencia comparable al tipo I. Su uso es recomendable en estructuras sometidas a una acción moderada de sulfatos o en aquellas donde se requiera controlar el calor generado durante la hidratación, siendo también apto para obras de concreto en general bajo dichas condiciones.

Tipo III: Corresponde al cemento portland de alta resistencia inicial o endurecimiento rápido, cuyas características son similares al tipo I, diferenciándose por su mayor contenido de C_3S y su mayor finura de molienda. Es especialmente recomendado para construcciones ejecutadas a bajas temperaturas, donde se requiere prevenir daños por congelamiento prematuro, o en situaciones en las que el encofrado deba retirarse en plazos reducidos para su reutilización.

Tipo IV: Se trata del cemento portland de bajo calor de hidratación, atribuible a su reducido contenido de C_3S y C_3A . Como consecuencia, presenta un desarrollo de resistencia más lento en comparación con el tipo I, aunque sin afectar la resistencia final alcanzada.

Tipo V: Denominado cemento portland resistente a los sulfatos, su formulación contempla un bajo contenido de C_3A , con el propósito de limitar las reacciones químicas entre los sulfatos y este compuesto, las cuales dan lugar a la formación de sulfoaluminatos de calcio y yeso, responsables de la fisuración y rotura del concreto. Su uso es recomendable en estructuras hidráulicas expuestas a aguas con elevado contenido de álcalis, así como en construcciones marinas sometidas a la acción de las mareas.

Cabe señalar que en el Perú no se emplean los cementos de tipo III y IV, debido a que la tecnología requerida para la producción de C_3S de mayor finura aún no está disponible en el país, o en su defecto, los costos de fabricación resultan prohibitivos.

En cuanto a los cementos con aditivos, estos consisten en una mezcla de cemento Portland o clinker con yeso, mezclados o triturados con puzolanas, escorias o celizas (PCA, 2004, p. 36). Estos cementos se clasifican principalmente en cinco tipos según la norma ASTM C 595:

- Tipo IS: Cemento portland de alto horno
- Tipo IP y Tipo P: Cemento portland puzolánico
- Tipo I (PM): Cemento portland modificado con puzolana
- Tipo S: Cemento de escoria o siderúrgico
- Tipo I (SM): Cemento portland modificado con escoria.

Figura 2

Tipos de cementos



2.2.2.2. Agregados

En el caso del hormigón, los componentes granulares conocidos como áridos que pueden ser naturales o artificiales son fundamentales, ya que constituyen más de tres cuartas partes del material, entre el 59 % y el 76 % en volumen.

En el caso del hormigón, los componentes granulares conocidos como áridos que pueden ser naturales o artificiales son fundamentales, ya que constituyen más de tres cuartas partes del material, entre el 59 % y el 76 % en volumen.

Al principio, se pensaba que los áridos eran una sustancia barata e inerte que se podía utilizar con pasta de cemento para fabricar grandes cantidades de hormigón. Las cualidades físicas, térmicas y, en ocasiones, químicas de los áridos pueden afectar al rendimiento del hormigón, como por ejemplo a su durabilidad (Neville y Brooks, 1998, p. 38). Por lo tanto, los áridos no son inertes. A continuación, se presenta un desglose de los áridos en función de su tamaño:

Al principio, se pensaba que los áridos eran una sustancia barata e inerte que se podía utilizar con pasta de cemento para fabricar grandes cantidades de hormigón. Las cualidades físicas, térmicas y, en ocasiones, químicas de los áridos pueden afectar al rendimiento del hormigón, como por ejemplo a su durabilidad (Neville y Brooks, 1998, p. 38). Por lo tanto, los áridos no son inertes. A continuación, se presenta un desglose de los áridos en función de su tamaño:

- Agregados finos y Agregados gruesos

El material al que a menudo se hace referencia como «hormigón»: la grava y la arena son dos componentes naturales de esta mezcla. El hormigón utilizado para cimientos continuos, forjados, cimientos falsos, lechos de asentamiento y otras aplicaciones de baja calidad se prepara con este árido. Además de cumplir los requisitos de la sección 3.2.12 de la Norma E.060 del Código Nacional de Construcción, su uso requiere la autorización del proyectista.

Las normas del proyecto deben estar respaldadas por la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, Normas normalizadas para áridos de hormigón, a las que deben ajustarse los áridos.

Figura 3

Agregados



Nota: <https://agregadoscomerciales.com>

a) Agregado fino

En lo que respecta al agregado fino, su graduación deberá encontrarse comprendida dentro de los límites granulométricos definidos por la Norma Técnica Peruana NTP 400.037. A fin de garantizar el cumplimiento de dichos requisitos, se sugiere considerar los siguientes criterios:

- ✓ La proporción retenida en dos tamices consecutivos cualesquiera no deberán exceder el 45% del total del agregado fino, conforme a los requisitos establecidos por la normativa vigente.
- ✓ El módulo de fineza del agregado fino deberá mantenerse dentro de un rango de variación de $\pm 0,2$ respecto al valor adoptado para la determinación de las proporciones de la mezcla de concreto,

siendo recomendable que dicho valor se encuentre comprendido entre 2,35 y 3,15.

- ✓ En relación con la evaluación del módulo de fineza, la literatura técnica señala que las arenas cuyos valores se sitúan entre 2,2 y 2,8 favorecen la obtención de concretos con adecuada trabajabilidad y baja tendencia a la segregación. Por su parte, aquellas arenas con módulos de fineza comprendidos entre 2,8 y 3,2 resultan las más apropiadas para la elaboración de concretos de alta resistencia, en tanto que su granulometría contribuye a una mayor compacidad y densificación de la matriz cementante.

Tabla 3

Tamices para la granulometría del agregado fino

Malla	% Que Pasa
Nº4	95 - 100
Nº8	80 - 100
Nº16	50 - 85
Nº30	25 - 60
Nº50	10 - 30
Nº100	02 - 10

Nota: NTP 400.037.

b) Agregados gruesos

La Norma Técnica Peruana NTP 400.011 define los agregados gruesos como aquellas partículas de origen natural o producto de la trituración mecánica de rocas, cuyo tamaño les permite ser retenidas sobre el tamiz N° 4, equivalente a una abertura de 4,75 mm.

La norma NTP 400.037 establece los parámetros de granulometría necesarios para garantizar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del hormigón, y el árido grueso, en lo que respecta a su distribución granulométrica, debe cumplir estas restricciones. Para garantizar el cumplimiento de estas normas, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La distribución granulométrica seleccionada deberá garantizar que la proporción de agregado retenido en la malla de $1\frac{1}{2}$ " no supere el 5%, y que el porcentaje de agregado que pasa la malla de $\frac{1}{4}$ " no exceda el 6% del total.
- Los tamaños nominales de los áridos gruesos no pueden superar el menor de los siguientes valores: la mitad del espacio mínimo admisible entre las caras del encofrado; un tercio de la curvatura de la losa; o tres cuartas partes del espacio mínimo admisible entre los tendones de pretensado, los haces de barras o alambres, o las armaduras individuales.

Se permite reducir el tamaño nominal máximo del árido grueso en los elementos estructurales con una sección transversal reducida o una alta densidad de armadura, previa autorización de la autoridad de control competente. No obstante, esta reducción no debe comprometer la trabajabilidad de la mezcla, debe mantenerse el asentamiento requerido y el hormigón debe conservar las propiedades mecánicas y físicas especificadas.

Tabla 4

Tamices normalizados para el agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 1/2 pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	4,75 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg)														
2	63 mm a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg)	---	---	100	90-100	35-70	0-15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25,0 mm (2 a 1 pulg)	---	---	---	100	90-100	35-70	0 a 15	---	0-5	---	---	---	---	---
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	---	---	---	100	95-100	---	35 a 70	---	0-30	---	0-5	---	---	---
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg)	---	---	---	---	100	90-100	20-55	0-5	---	0-5	---	---	---	---
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg a No. 4)	---	---	---	---	100	95-100	---	35-70	---	10-30	0-5	---	---	---
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 a 1/2 pulg)	---	---	---	---	---	100	90-100	20-55	0-10	0-5	---	---	---	---
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	---	---	---
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25-60	---	0-10	0-5	---	---
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	---	100	90-100	20-55	0-15	0-5	---	---	---
67	19,0 mm a 4,75 mm (3/4 pulg a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90-100	---	20-55	0-10	0-5	---	---
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90-100	40-70	0-15	0-5	---	---
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85-100	10-30	0-10	0-5	---
89	9,5 mm a 1,18 mm (3/8 pulg a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90-100	20-35	5-30	0-10	0-5
9	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85-100	10-40	0-10	0-5

Nota: NTP 400.037.

2.2.2.3. Agua

Según Neville (1999), el agua constituye uno de los componentes de mayor relevancia dentro de la composición del concreto, razón por la cual debe satisfacer determinados parámetros de calidad que garanticen la correcta ejecución del proceso de hidratación. Su inadecuada calidad puede ocasionar alteraciones perjudiciales en el fraguado, comprometer la resistencia mecánica del material y reducir su durabilidad a largo plazo. En consecuencia, resulta indispensable que el agua destinada al mezclado con el cemento sea evaluada previamente, verificando su conformidad con los requisitos establecidos en la

Norma Técnica Peruana NTP 339.088, siendo preferible el empleo de agua potable para tal fin.

a) Funciones del agua

El agua incorporada en la mezcla de concreto cumple tres funciones esenciales e interdependientes:

- Participar en la reacción química con el cemento, dando inicio al proceso de hidratación y permitiendo el desarrollo de las propiedades aglutinantes del material.
- Actuar como agente lubricante entre los componentes de la mezcla, favoreciendo la trabajabilidad del concreto y facilitando su colocación y compactación.
- Generar una estructura de vacíos suficiente en el interior de la pasta cementante, proporcionando el espacio necesario para que los productos derivados de la hidratación puedan desarrollarse adecuadamente.

Por este motivo, el contenido de agua del hormigón suele ser mayor de lo que es técnicamente necesario para hidratar el cemento, ya que se requiere un mayor porcentaje de este ingrediente para garantizar la trabajabilidad.

b) Participación del agua en el concreto

- ✓ Agua de mezclado: Sánchez (2001, p. 53) la define como la cantidad de agua por metro cúbico de concreto producido, cuya función principal es proporcionar la trabajabilidad adecuada a la

mezcla y garantizar un proceso de hidratación eficiente del material cementante.

- ✓ Agua de hidratación: Sánchez (2001, p. 53) afirma que el agua de hidratación es la fracción del agua de mezcla que reacciona químicamente con el material cementoso y que, finalmente, se solidifica formando el gel cementoso. La incorporación estructural de esta agua al producto de hidratación le confiere otro nombre: agua no evaporable.
- ✓ Agua evaporable: El agua que puede evaporarse de la pasta de hormigón mientras aún está blanda se denomina agua evaporable (Sánchez, 2001, p. 53). Parte de ella queda retenida en la pasta de cemento debido a las fuerzas de atracción molecular, por lo que no es completamente libre.
- ✓ Agua de adsorción: Sánchez (2001, p. 53) define el «agua de adsorción» como la capa de agua molecular que se adhiere firmemente a las superficies del gel cementoso mediante fuerzas de atracción intermoleculares, a distancias de la superficie del gel que oscilan entre 0 Å y 30 Å.
- ✓ Agua capilar: Conforme a lo señalado por Sánchez (2001, p. 53), es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta cementante, ubicada a distancias que oscilan entre 30 y 10^7 Å respecto a la superficie del gel, lo que determina que esté sometida de manera débil a las fuerzas de atracción del gel cementicio.

- ✓ Agua libre: Sánchez (2001, p. 53) la describe como aquella fracción de agua situada fuera del área de influencia de las fuerzas de atracción superficial del gel cementicio, razón por la cual presenta completa movilidad y capacidad de evaporación sin restricciones.
- ✓ Agua de curado: Según Sánchez (2001, p. 55), constituye el suministro adicional de agua aportado al concreto con la finalidad de completar eficientemente la hidratación del cemento, asegurando el desarrollo íntegro de la reacción química del material cementante.

c) Requisitos de calidad

Sigue siendo necesario realizar ensayos de calidad del hormigón, aunque cada vez es más habitual utilizar agua potable tanto para el amasado como para el curado. Existe una propuesta de norma nacional que especifica las cantidades de agua necesarias para el amasado y el curado. Curiosamente, organizaciones internacionales como la ACI y la ASTM no ofrecen directrices sobre el contenido de agua recomendado en el hormigón, por lo que se recurre a la norma NTP 339.088 para establecer estos valores.

A efectos de precisar los criterios normativos aplicables, los requisitos se encuentran sistematizados en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 5

Parámetros para el agua de concreto

Descripción	Límite Permisible	
Sólidos en suspensión	5000 ppm	Máxim
Materia Orgánica	3 ppm	Máxim
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 ppm	Máxim
Sulfatos (ión SO ₄)	600 ppm	Máxim
Cloruros (ión Cl ⁻)	1000 ppm	Máxim
pH	5 a 8	

Nota: NTP 339.088.

Figura 4

Agua en la mezcla del concreto



Nota: <https://wotaichem.com/es/que-sucede-si-el-concreto>

2.2.2.4. Aditivos

Se entiende por aditivo aquel componente que, incorporado en proporciones reducidas al concreto inmediatamente antes o durante el proceso de mezclado, tiene como propósito modificar una o varias de sus propiedades, ya sea de manera temporal o permanente, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Su empleo debe estar respaldado por el cumplimiento de las especificaciones establecidas en la norma ASTM, las recomendaciones del ACI o la Norma Técnica Peruana NTP 339.086.

El concreto, para satisfacer las exigencias de su aplicación, debe reunir condiciones de trabajabilidad, resistencia, durabilidad, impermeabilidad y resistencia al desgaste. En la mayoría de los casos, estas características pueden alcanzarse de manera más eficiente y económica mediante un diseño de mezcla adecuado y una cuidadosa selección de materiales, sin necesidad de recurrir al uso de aditivos, salvo en aquellas situaciones en que se requiera la incorporación de agentes inclusores de aire. No obstante, hay situaciones que requieren ciertas características, como un tiempo de fraguado más prolongado, un aumento más rápido de la resistencia en las primeras fases o un retraso en la generación de calor de hidratación. Por estas razones, es recomendable estudiar y evaluar determinados aditivos que, al incorporarlos al hormigón, pueden conferirle las ventajas técnicas deseadas (Aguilar, 2007, pp. 17-18).

De conformidad con la Norma ASTM C 494, los aditivos se clasifican según se detalla en la tabla siguiente:

Tabla 6*Tipos de aditivos*

Tipo	Descripción
A	Reductores de agua
B	Retardantes de fragua
C	Acelerantes
D	Reductores de agua y retardantes de agua
E	Reductores de agua y acelerantes
F	Super reductores de agua
G	Super reductores de agua y acelerantes

Nota: (ASTM C 494)

A. Superplastificantes

Los aditivos superplastificantes permiten reducir el volumen de agua incorporado en la mezcla de concreto, manteniendo en todo momento las condiciones de trabajabilidad y consistencia requeridas. Adicionalmente, contribuyen a controlar la temperatura de la mezcla y a atenuar las variaciones de volumen que pueden experimentar el concreto durante su proceso de endurecimiento. La disminución del contenido de agua genera como efecto directo una reducción de la relación agua/cemento, lo que repercute favorablemente en el incremento de la resistencia mecánica del material. En función de estos beneficios, la incorporación de superplastificantes en el diseño de mezclas persigue la consecución de los siguientes resultados:

- ✓ Métodos para la elaboración de mezclas de hormigón con una menor relación agua-cemento que favorecen el desarrollo de mejores características mecánicas y de durabilidad.
- ✓ Conservación de una trabajabilidad constante en la mezcla, facilitando las operaciones de vaciado del concreto en condiciones climáticas cálidas o templadas.
- ✓ Producción de concretos premezclados con características homogéneas y controladas.
- ✓ Obtención de concretos con resistencias mecánicas superiores a las alcanzadas mediante mezclas convencionales.

García (2020) precisa que los superplastificantes deben dosificarse conforme a las especificaciones del fabricante, señalando que su correcta aplicación contribuye a mantener la temperatura de la mezcla y a mejorar el comportamiento del concreto en general.

En complemento, Cruz (2017, p. 41) identifica las propiedades que la absorción superficial generada por los superplastificantes confiere al concreto:

- ✓ Menor contenido de agua y mayor densidad.
- ✓ Fluidez óptima de la mezcla.
- ✓ Capacidad de autocompactación.
- ✓ Elevada impermeabilidad.
- ✓ Relación agua/cemento reducida.
- ✓ Mayor durabilidad.
- ✓ Reducción de exudación y segregación.
- ✓ Mayor cohesión del concreto.
- ✓ Mejor adherencia entre concreto y acero.
- ✓ Comportamiento mejorado frente a contracción y deslizamiento.
- ✓ Menor carbonatación del concreto.

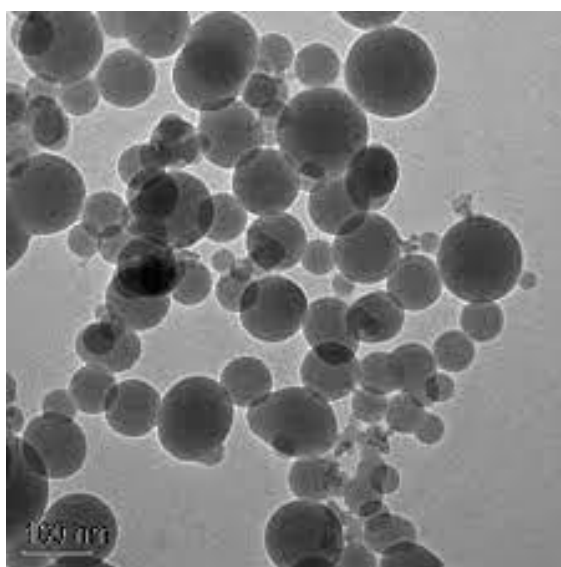
B. Nanosilice

La nanosílice es un material compuesto por partículas de dimensiones nanométricas del orden de decenas de nanómetros cuya composición química

está constituida mayoritariamente por dióxido de silicio (SiO_2). Las formas líquidas de esta sustancia, a veces combinadas con otros compuestos, resultan más prácticas para el transporte, la manipulación y la aplicabilidad in situ debido al diminuto tamaño de las partículas del material. En la figura 5 se muestra una micrografía electrónica de transmisión (TEM) de partículas de nanosílice a escala de 80 nm.

Figura 5

Microfibra de partículas de nanosilice



Nota: (tobón, 2011, p.106)

Las partículas de silicato de calcio hidratado, o gel C-S-H, se forman cuando la sílice reacciona con los iones de calcio, sodio o potasio presentes en los subproductos de la hidratación del cemento. Este compuesto cumple un rol cohesionante esencial dentro de la microestructura del concreto, manteniendo interconectadas todas las partículas del sistema a una escala de nanoporos y contribuyendo a la densificación y mejora de las propiedades mecánicas del material.

B.1. Influencia de la nanosílice en la microestructura del concreto

Según Li et al. (2004), el desarrollo de la microestructura generada por la adición de nanosílice (NS) está condicionado por el grado de dispersión de las nanopartículas en la masa del concreto. Cuando la nanosílice se encuentra adecuadamente dispersa, se produce una microestructura densa y compacta incluso con dosificaciones reducidas; sin embargo, una dispersión deficiente puede originar la formación de vacíos y zonas de debilidad estructural que comprometen el desempeño del material.

Dado que los procesos internos provocados por la presencia de nanosílice favorecen la formación de una matriz más densa, compacta y resistente en comparación con el hormigón convencional, la incorporación de nanosílice modifica significativamente la microestructura final del hormigón..

Un aspecto determinante de estos cambios microestructurales es la activación de la denominada actividad puzolánica del material. La reacción puzolánica consiste en la capacidad de la puzolana —en este caso, la nanosílice— de reaccionar con el hidróxido cálcico o portlandita en presencia de humedad, dando lugar a la formación de nuevos compuestos estables, de baja solubilidad en agua y con propiedades cementantes capaces de desarrollar resistencia mediante endurecimiento hidráulico. Al respecto, Henche (2011, p. 35) señala que la sílice por sí sola carece de valor cementante; no obstante, cuando se incorpora finamente molida en forma de nanopartícula y en condiciones de humedad adecuadas, adquiere la capacidad de reaccionar con la portlandita, fijando el calcio y generando silicatos cálcicos hidratados (C-S-H)

de estequiometría no definida, compuestos que contribuyen de manera decisiva a la densificación y mejora de las propiedades mecánicas del concreto.

B.2. Investigaciones previas sobre el concreto adicionado con nanosílice

Según la comunidad científica, el aumento de la concentración de nano-SiO₂ en las mezclas de cemento Portland mejora significativamente el desarrollo de la resistencia a la compresión. Las investigaciones realizadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) han demostrado que las partículas de nanosílice contribuyen a reducir el contenido de hidróxido de calcio en los poros de la matriz cementosa, al tiempo que disminuyen la concentración de otros productos de hidratación.

En esta línea, Li et al. (2004) y Li, Xiao y Ou (2004) determinaron que la incorporación de nanosílice en una proporción del 10% genera incrementos en la resistencia a la compresión de hasta el 20% a los 7 días y del 26% a los 28 días de fraguado, observándose además que dicho incremento continúa manifestándose con posterioridad al período estándar de curado de 28 días.

Respecto al comportamiento de los materiales puzolánicos, Ji (2005) planteó que las propiedades del concreto mejorarían con su incorporación, considerando el reducido tamaño de sus partículas. Sin embargo, investigaciones posteriores evidenciaron que la elevada demanda de agua o de plastificantes requerida para alcanzar la trabajabilidad deseada en mezclas con puzolanas resultó en una mayor porosidad en comparación con las mezclas sin adición (López, 2011; Nazari y Riahi, 2010, 2011a). Sin embargo, las

investigaciones demuestran que la porosidad disminuye gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de material puzolánico, lo que da lugar a una mejora notable del comportamiento del hormigón (Nazari y Riahi, 2010). De hecho, los niveles de porosidad pueden reducirse por debajo de los del hormigón sin tratar (Said et al., 2012).

También se han llevado a cabo estudios sobre el hormigón autocompactante que utiliza aditivos minerales como la piedra caliza pulverizada, las cenizas volantes y materiales similares. Como agente modificador de la viscosidad, en estas investigaciones se utilizó nanosílice con tamaños de partícula que oscilaban entre 5 y 50 nm, administrada en dosis que iban del 1 % al 2 % con respecto al contenido de cemento. Todas las mezclas se mantuvieron con una relación agua-cemento constante de 0,58. El asentamiento se mantuvo entre 780 y 800 mm modificando la dosificación del superplastificante a base de polímero acrílico. La cantidad de nanosílice añadida aumentó un 0,21 % por cada punto porcentual. Según los resultados (Aguilar, 2007, p. 26), la nanosílice aumenta la cohesión de la mezcla y reduce drásticamente el sangrado y la segregación.

Finalmente, Barrios et al. (2009) investigaron los posibles efectos nocivos de la nanosílice sobre el acero de refuerzo del concreto, concluyendo que, tras 60 días de análisis, la nanosílice no produjo daños severos de corrosión en el acero, confirmando su compatibilidad con los elementos de refuerzo estructural.

2.2.3. Diseño de mezclas

El diseño de mezcla constituye el proceso mediante el cual se determina la dosificación óptima del concreto, entendida como la selección y proporcionamiento adecuado de cada uno de sus componentes. Este procedimiento tiene como propósito establecer las cantidades precisas de materiales disponibles en la zona, de manera que la mezcla resultante satisfaga las propiedades técnicas requeridas para su aplicación. De acuerdo con Kosmatka et al. (2004), un concreto con una dosificación correctamente justificada debe reunir las siguientes condiciones: trabajabilidad satisfactoria en estado fresco; y estabilidad, resistencia y uniformidad estructural en estado endurecido.

a. Asentamiento

Para que el concreto satisfaga las propiedades requeridas en su aplicación, debe poseer un nivel adecuado de trabajabilidad durante su etapa de producción, que le permita ser manipulado y transportado dentro de un lapso de tiempo determinado, así como llenar correctamente los encofrados durante los procesos de vibrado y compactación. Al respecto, Zongjin (2011, p. 94) señala que la compactación desempeña un rol fundamental en el aseguramiento de las propiedades a largo plazo del concreto endurecido, dado que su correcta ejecución resulta indispensable para eliminar el aire atrapado en la mezcla y lograr una estructura densa y homogénea. Para que el concreto sea considerado trabajable, debe cumplir con dos condiciones esenciales: consistencia y cohesión.

La consistencia hace referencia a la capacidad del concreto fresco para fluir, mientras que la cohesión describe su aptitud para mantener todos los componentes de la mezcla unidos de manera uniforme. Convencionalmente, la consistencia se evalúa mediante el ensayo del cono de asentamiento (Zongjin, 2011, p. 95).

De acuerdo con el Comité ACI 116, la trabajabilidad de la mezcla de concreto —también denominada revenimiento o slump y expresada en pulgadas— refleja el grado de manejabilidad y asentamiento del material en estado fresco, constituyendo un indicador directo de su fluidez. Chávez et al. (2021) señalan que valores mayores de slump se asocian a una menor probabilidad de segregación y erosión durante el proceso de endurecimiento del concreto.

El valor de revenimiento requerido para la adecuada manipulación del concreto se determinará en función del tipo de aplicación prevista, debiendo seleccionarse conforme a los rangos establecidos en la Tabla N° 7.

Tabla 7

Calificación del slump

Método de Compactación	Trabajabilidad	Consistencia	Slump
Vibración normal	Poca trabajable	Estado seco	0"-2"
Vibración ligera	Trabajable	Estado plástico	3"- 4"
Chuseado	Muy trabajable	Fluida	> 5"

Nota: Chávez & Mendoza (2021).

b. Dosificación

La dosificación constituye el procedimiento mediante el cual se determinan y cuantifican con precisión las proporciones de cada uno de los componentes que integran la mezcla de concreto, previo a su incorporación al mezclador. Con el propósito de garantizar una distribución uniforme y homogénea de los materiales en la masa resultante, resulta indispensable medir con exactitud cada componente en cada porción de mezcla producida (Kosmatka et al., 2004)).

c. Relación agua/cemento

El cemento Portland, los cementos mezclados, la escoria, el humo de sílice y las puzolanas naturales son todos componentes de los materiales cementosos, y su relación agua-cemento es el producto de la masa de estos materiales dividida por el volumen de agua (Kosmatka et al., 2004, p. 186). Debido a su enorme influencia en el comportamiento del hormigón, la determinación de este parámetro debe abarcar no solo la resistencia mecánica, sino también las normas de durabilidad y las características del acabado superficial (Abanto, 1996, p. 66).

2.2.4. Temperaturas de congelamiento

El Comité ACI 306R-88 (2002, p. 2) define el clima frío como aquel período durante el cual, por más de tres días consecutivos, el promedio de la temperatura del aire desciende por debajo de los 4°C (40°F) y se mantiene por debajo de los 10°C (50°F) durante más de la mitad de cualquier período de 24 horas.

En el ámbito nacional, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2019, p. 443) establece que se considera clima frío toda condición en la que, en cualquier momento durante el proceso de vaciado, la temperatura ambiente pueda registrarse por debajo de los 5°C.

Las variaciones térmicas bruscas representan una amenaza significativa para la integridad del concreto, siendo los primeros días posteriores a su producción el período de mayor vulnerabilidad. En la región de Puno, esta problemática se agudiza debido a las marcadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche, donde las temperaturas diurnas pueden ser elevadas y las nocturnas descienden por debajo del punto de congelamiento, es decir, por debajo de los 0°C. Al respecto, Amacifuen (2002, p. 12) señala que en las regiones altoandinas del país las temperaturas experimentan fluctuaciones constantes de incremento y decremento, caracterizándose por períodos prolongados de bajas temperaturas que frecuentemente alcanzan el punto de congelamiento.

2.2.4.1. Efecto de las temperaturas de congelamiento sobre el concreto

Cuando el concreto es sometido a condiciones de congelamiento, los cambios volumétricos del agua contenida en su interior impiden el desarrollo completo de sus propiedades, resultando en un material de características mecánicas deficientes. Este fenómeno constituye un agente de deterioro propio de climas con temperaturas suficientemente bajas como para provocar el congelamiento del agua alojada en los poros capilares del concreto. En términos generales, dicho proceso se caracteriza por generar esfuerzos internos de

tracción que pueden ocasionar fisuraciones reiteradas y la consecuente desintegración progresiva del material (Pasquel, 1998, p. 275).

Menéndez (como se citó en Páez et al., 2009) señala que el agua contenida en los poros del concreto endurecido experimenta ciclos sucesivos de congelación y descongelación, constituyendo uno de los agentes de deterioro más destructivos que puede afectar al hormigón, dado que su acción perjudica tanto a la masa cementante como a los agregados de manera independiente, así como al conjunto del material en su totalidad.

En complemento, Páez et al. (2009) describen que los ciclos de variación térmica brusca ejercen una influencia determinante sobre la calidad del hormigón, afectando directamente su resistencia a la compresión. Conforme a lo establecido por diversos especialistas en la materia, los ciclos de congelación y descongelación representan uno de los fenómenos más destructivos a los que puede estar expuesto el concreto, comprometiendo de manera significativa su durabilidad y desempeño estructural.

Figura 6

Incidencia de los ciclos de congelamiento y deshielo en el comportamiento del concreto



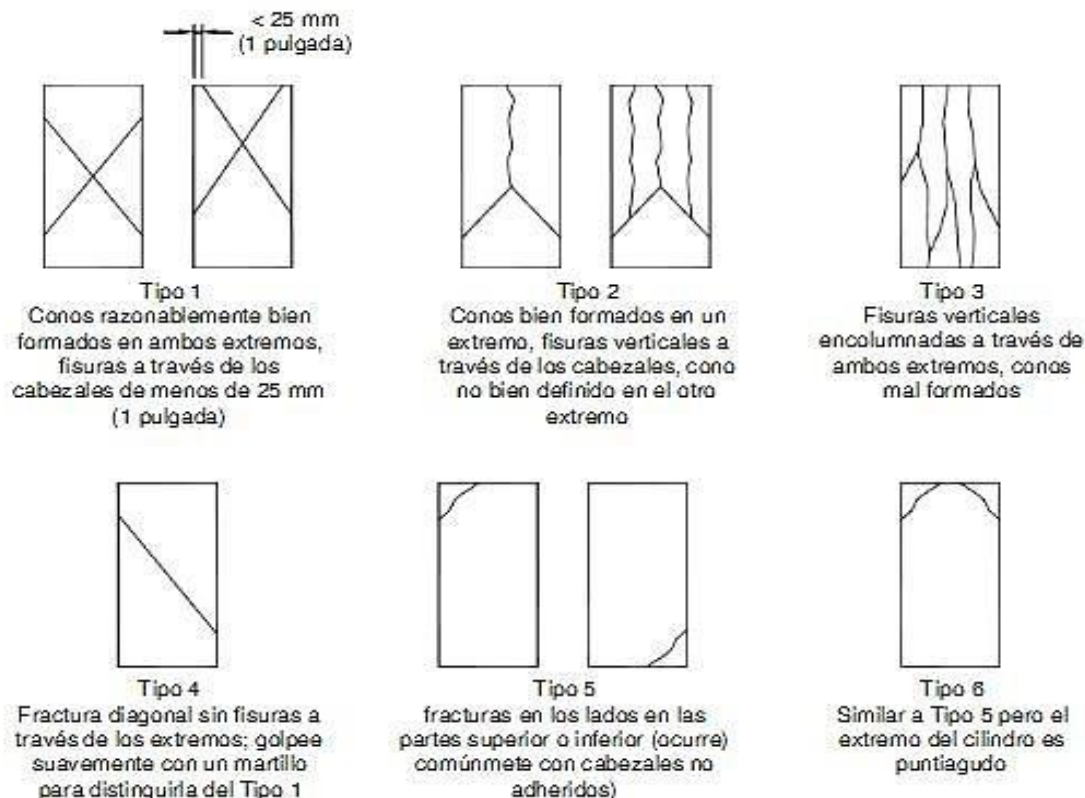
Nota: (Pigeon & Pleau, 1995)

2.2.4.2. Impacto de las condiciones de congelamiento sobre el curado y desarrollo de resistencia del concreto

Para garantizar un desarrollo normal de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo, Pasquel (1998, p. 279) establece que el curado debe realizarse manteniendo una temperatura mínima de referencia de 13°C para elementos con espesores de 30 cm, y de 5°C para elementos de aproximadamente 1,80 m de espesor. En consecuencia, resulta indispensable preservar las condiciones térmicas adecuadas mediante el empleo de elementos aislantes que impidan la pérdida de calor, la evaporación del agua o el congelamiento de la mezcla, hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia mínima de 35 kg/cm².

2.2.5. *Propiedades mecánicas del concreto*

Una vez que el hormigón se ha solidificado, sus propiedades mecánicas determinan la capacidad del material para soportar y resistir diferentes tipos de esfuerzos. Los límites de resistencia de las muestras de hormigón se determinan sometiéndolas a diversos esfuerzos mecánicos como la compresión, la tracción, la flexión y el cizallamiento mediante ensayos normalizados que exponen a las muestras a niveles máximos de esfuerzo. Los diseñadores estructurales se basan en el conocimiento y la evaluación precisa de estas propiedades para determinar la capacidad de carga del hormigón y construir edificios que sean seguros, funcionales y duraderos.

Figura 7*Tipos de rotura*

Nota. NTP (2015)

a. Resistencia a la compresión del concreto

Rivva López (2000) define la resistencia del concreto como el esfuerzo máximo que el material es capaz de soportar antes de producirse su rotura. Este parámetro fundamental se determina mediante el ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm) de diámetro y 12" (30 cm) de altura, siguiendo un procedimiento normalizado. Una vez realizado el vaciado, el espécimen debe permanecer en el molde durante las primeras 24 horas, transcurridas las cuales es sometido a curado bajo agua hasta el momento de su ensayo. El procedimiento estándar establece que la probeta debe tener 28 días de edad al momento del ensayo,

aunque este período puede modificarse cuando las especificaciones técnicas del proyecto así lo requieran.

A lo largo de todo el ensayo se aplica al cilindro una carga constante de 2,45 kg/cm²/s. A los 28 días de edad, se utiliza el valor medio de dos probetas extraídas de la misma muestra y sometidas a ensayo de resistencia a la compresión (f'_c). Las normas C-192M-95 y C-39-9, publicadas por la ASTM (Harmsen, 2002), describen todo el proceso.

Figura 8

Resistencia a la compresión del concreto



Nota. <https://construneic.com/concreto-armado/ensayo>

2.2.6. Ensayo del concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo

El ensayo de concreto sometido a ciclos de congelamiento y deshielo se llevó a cabo tomando como referencia los lineamientos establecidos en la norma ASTM C 666, considerando únicamente los procedimientos relacionados con el proceso de congelamiento y deshielo de las muestras. Es importante destacar que no seguimos las directrices de dicha norma ni evaluamos los daños

observando cuánto se encogían o cambiaban de tamaño las muestras tras un determinado número de ciclos. En su lugar, se utilizaron la resistencia a la compresión y la porosidad dos parámetros que se consideran los mejores indicadores de la durabilidad del material en las condiciones de ensayo especificadas para cuantificar la degradación del hormigón. El proceso consistió en someter las muestras de hormigón a ciclos repetidos de congelación y descongelación para imitar las condiciones climáticas observadas en el lugar de la investigación. La fase de congelamiento se reprodujo de manera artificial durante 12 horas nocturnas, mediante el empleo de una cámara de congelación con termostato calibrado en un rango de temperatura de -8°C a -15°C . Posteriormente, la fase de deshielo se desarrolló de forma natural durante 12 horas diurnas, bajo las condiciones ambientales del entorno, completando así cada ciclo de ensayo.

Figura 9

Concreto sometido a altas temperaturas



2.3. Marco conceptual

1. **Clima frío:** El clima calificado como frío por el Comité ACI 306 (2002) se da cuando la temperatura media del aire desciende por debajo de los 4 °C durante al menos tres días consecutivos y se mantiene por debajo de los 10 °C durante más de la mitad de cada periodo de 24 horas. Según el Código Nacional de Construcción (RNE, 2009, p. 443), se entiende por clima frío aquellas condiciones en las que la temperatura ambiente puede descender por debajo de los 5 °C en cualquier momento durante el proceso de colocación del hormigón.
2. **Aditivo:** De acuerdo con Abanto (2017), los aditivos son materiales incorporados a la mezcla de concreto durante su proceso de preparación, cuya función principal es mejorar el desempeño del hormigón cuando este es expuesto a condiciones climáticas adversas o situaciones que demandan características especiales en el material.
3. **Nanosílice:** La nanosílice es un material empleado para modificar la dispersión y plasticidad del hormigón de cemento, confiriéndole propiedades específicas tales como resistencia al sangrado, impermeabilidad mejorada, mayor rendimiento ante condiciones de congelamiento, reducción del calor de hidratación y prolongación de su vida útil (Duarte, 2020).
4. **Segregación:** Abanto (2017) define la segregación como la tendencia de los componentes del concreto en estado fresco a separarse entre sí, como consecuencia de las diferencias en peso y tamaño de sus

partículas. Durante los procesos de colocación y transporte, las partículas de mayor tamaño y peso tienden a desplazarse hacia las zonas inferiores de la mezcla, mientras que los componentes más ligeros y finos ascienden hacia la parte superior del volumen, comprometiendo la homogeneidad del material.

5. Superplastificante: Una forma de conseguir la consistencia necesaria en el hormigón utilizando menos agua es recurrir a los superplastificantes, que son compuestos orgánicos sintéticos solubles en agua. Estos agentes también se denominan reductores de agua de alto rango. Al incorporarlos, se aumenta la fluidez de la mezcla y se reducen el contenido de material cementoso y la relación agua-cemento (Kingsun, 2018).

6. Agregado fino: Según Torres (2004), el agregado fino se define como el conjunto de partículas que pasan el tamiz N° 3/8" y quedan retenidas en la malla N° 200, estando constituido principalmente por arenas de origen natural o artificial obtenidas de canteras aluviales, cuyas características granulométricas deben cumplir con los requisitos normativos para su empleo en mezclas de concreto.

7. Agregado grueso: De acuerdo con Torres (2004), el agregado grueso comprende las partículas de dimensiones superiores a las retenidas en el tamiz N° 4, conformado por gravas o rocas fragmentadas provenientes de canteras seleccionadas en función de sus características físicas y mecánicas, las cuales deben adecuarse a los requerimientos establecidos para su utilización en la elaboración del concreto.

- 8. Agua:** El agua constituye uno de los componentes de mayor relevancia en la elaboración del hormigón, dado que su presencia incide directamente sobre las propiedades fundamentales del material, entre las que se destacan la resistencia mecánica, el proceso de endurecimiento y la durabilidad del concreto resultante.
- 9. Cemento:** Abanto (2017) define el cemento portland como el material cementante de mayor uso en la construcción contemporánea, obtenido a partir de la combinación y procesamiento de materiales arcillosos y calcáreos, con la incorporación de otros compuestos que contienen óxido de hierro y sílice, cuya interacción química da origen a un material con propiedades aglutinantes y resistentes de gran valor estructural
- 10. Concreto:** El hormigón, material de construcción tradicional, se fabrica mezclando tres ingredientes principales: áridos, agua y cemento (Torres, 2004). Los aditivos constituyen un cuarto componente que puede utilizarse para modificar o mejorar las cualidades de la mezcla en determinados casos. Durante el proceso de mezcla se añade aire como quinto componente, y su presencia influye en las propiedades físicas y mecánicas del material.



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, en tanto que el estudio de la influencia del aditivo superplastificante (SP) y la nanosílice (NS) sobre las propiedades mecánicas del concreto sometido a ciclos de hielo y deshielo se sustenta en la medición objetiva de variables numéricas, la experimentación bajo condiciones controladas y el análisis estadístico de los datos obtenidos, permitiendo establecer relaciones causales entre las variables de estudio de manera precisa y verificable.

3.2. Tipo de investigación

Dado que la investigación tiene como objetivo actuar en circunstancias concretas para mejorar el ámbito de estudio y aportar respuestas tangibles a problemas reconocidos, se lleva a cabo utilizando un diseño experimental con un enfoque cuantitativo y aplicado. Los aditivos propuestos, un superplastificante

y nanosílice, forman parte de un enfoque de intervención para mejorar las cualidades mecánicas y de durabilidad del hormigón. Posteriormente, para determinar cómo se comporta el hormigón una vez endurecido, se somete a compresión y se comprueba su resistencia. El objetivo principal de este estudio es evaluar el estado final del hormigón que ha sido sometido a temperaturas bajo cero.

3.3. Nivel de investigación

La investigación se sitúa en un nivel explicativo, en tanto que su propósito es establecer y analizar las relaciones de causa y efecto que se producen entre las variables de estudio. En el contexto de las condiciones de heladas características de la región de San Miguel, esta investigación pretende explicar los efectos de la incorporación de superplastificantes y nanosílice en las propiedades mecánicas del hormigón, concretamente en su resistencia a la compresión. De este modo, la investigación no se limita a describir el fenómeno, sino que profundiza en la comprensión de los mecanismos que determinan el comportamiento del material ante las variables de intervención propuestas.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de una investigación puede clasificarse en tres modalidades principales: de campo, experimental. Para efectos de la presente investigación, se adoptó un diseño experimental, el cual se complementa con la revisión y análisis de fuentes bibliográficas que proporcionan el sustento teórico necesario para justificar los distintos aspectos del estudio. Estos datos permitieron calcular con precisión las cantidades de cada componente necesarias para fabricar el

hormigón, lo que a su vez permitió llevar a cabo una serie de experimentos para demostrar la resistencia a la compresión del material en condiciones controladas.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

El grupo de ensayo está compuesto por tres muestras: concreto normal, concreto con superplastificante añadido y concreto con nanisílice.

3.5.2. Muestra

De conformidad con la normativa ACI 318, cada resultado de resistencia debe corresponder al promedio obtenido de un mínimo de dos cilindros de 150 mm × 300 mm (6 × 12 pulg). En el marco de la presente investigación, se elaboraron un total de 27 testigos de concreto, determinándose el valor de resistencia a partir del promedio de cinco especímenes ensayados a las edades de 7, 14 y 28 días. Los testigos fueron distribuidos en tres grupos de 3 especímenes cada uno, todos ellos sometidos a ciclos de congelamiento y descongelación. El primer grupo constituyó la mezcla patrón, elaborada sin la incorporación de ningún componente preventivo, con el propósito de evaluar el comportamiento base del concreto ante las temperaturas de congelación. El segundo grupo fue elaborado con la adición de aditivo superplastificante, evaluando su influencia sobre las propiedades del concreto bajo condiciones de congelamiento. El tercer y último grupo incorporó nanosílice como adición, sometiéndose igualmente a temperaturas de congelación para analizar su efecto protector sobre el material. La distribución detallada de los especímenes se presenta en la Tabla N° 8.

Tabla 8*Cantidades de especímenes a realizar*

Dosificación	Compresión		
	7(días)	14(días)	28(días)
Concreto Normal	3	3	3
C.N. + 1.5% de aditivo superplastificante	3	3	3
C.P. + 1.5 de aditivo nanocilise	3	3	3
Total		27	

3.6. Técnicas e instrumentos

Todos los materiales utilizados en la investigación se sometieron a rigurosas pruebas de laboratorio para determinar sus especificaciones técnicas, la resistencia a la compresión axial en los núcleos de hormigón y las características físicas y mecánicas de los áridos. Estas pruebas constituyen la base de este método de recopilación de datos. Los instrumentos del estudio fueron validados mediante certificados de calibración auténticos, lo que garantiza la precisión y la fiabilidad de los datos recopilados. El estudio incluye estos certificados en un apéndice.

3.7. Procedimiento para la recolección de datos

3.7.1. Ubicación y extracción de los agregados

Para la obtención de los agregados empleados en la producción del concreto, se seleccionó la cantera Isla como fuente de extracción, decisión sustentada en la elevada demanda de utilización que este material registra en las obras de construcción de la zona, así como en la existencia de numerosos

estudios previos que avalan su eficacia y calidad en términos de resistencia en diversas obras de ingeniería civil. Dicha cantera se encuentra ubicada en el centro poblado de Isla, a una distancia aproximada de 10 km del distrito de Juliaca.

3.7.2. Ensayos de laboratorio

A. Contenido de humedad

La norma MTC E 108-2000, Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo, se basa en la norma internacional ASTM D2216 y forma parte del Manual de Ensayos de Materiales EM 2000. A lo largo de todo el ensayo se siguió esta norma.

Para su realización se emplearon los siguientes equipos: balanza con precisión equivalente al 0,1% del peso de la muestra ensayada, taras de pesaje y horno de secado regulado a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Descripción del proceso

- El procedimiento se inicia con el cuarteo del material con el propósito de obtener una muestra representativa, la cual es depositada en envases previamente tarados y pesados.
- A continuación, se registra el peso conjunto de la tara y el material en estado húmedo, tras lo cual la muestra es introducida en el horno de secado durante un período de 24 horas a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Transcurrido dicho período, la muestra es retirada

del horno y, una vez alcanzado el enfriamiento a temperatura ambiente, se procede al pesaje del material en estado seco.

- Con el fin de incrementar la precisión y representatividad de los resultados, el ensayo se realiza sobre tres muestras independientes, calculándose posteriormente el valor promedio de las determinaciones obtenidas.

Figura 10

Muestra en el horno



B. Peso específico y absorción de los agregados finos

Para calcular la gravedad específica o densidad relativa del árido grueso, primero hay que determinar su densidad media, sin tener en cuenta el volumen de los espacios entre las partículas. El procedimiento se realizó según el EM 2000, MTC E 205 – 2000, referente al peso específico y absorción de los agregados finos, el cual se basa en la norma ASTM C128.

El equipo y los materiales utilizados incluían una estufa eléctrica, cucharones, una balanza de precisión, un molde cónico truncado con su martillo de compactación, recipientes, un tubo de ensayo, un horno y una muestra saturada de áridos finos de 24 horas.

Descripción del proceso

- Se toma una muestra del material que pasa por el tamiz de 4 milímetros, que pesa aproximadamente 1 kilogramo. El siguiente paso consiste en saturar completamente este material sumergiéndolo en agua durante 24 horas.
- Una vez remojado, escurre el agua sobrante. A continuación, con un hornillo eléctrico regulable, calienta suavemente el material fino en un recipiente metálico mientras observas cómo se seca, asegurándote de que se seque de la forma más uniforme posible.
- Luego, se toma el material obtenido y se rellena con cuidado el molde troncocónico, compactándolo con 25 golpes de ligera intensidad sobre la superficie. Una vez retirado el molde, se observa el primer desmoronamiento del cono de agregado, lo que indica que el material se encuentra en estado de saturado superficialmente seco (S.S.S.), condición requerida para esta etapa del ensayo.
- A continuación, se toma el material en estado S.S.S. y se introduce una cantidad adecuada en un picnómetro previamente tarado, determinándose su masa. Colocar el picnómetro en un baño de

agua tras llenarlo hasta aproximadamente el 90 % de su capacidad permite eliminar el aire atrapado. Por último, se llena el picnómetro hasta su capacidad máxima, se pesa el conjunto y, a continuación, se retira el agregado, se coloca en un platillo de la balanza y se seca en un horno durante 24 horas para determinar su peso seco. Tras verter el agua, se repite el proceso.

Figura 11

Peso de la muestra más picnómetro



C. *Peso específico y absorción de los agregados gruesos*

El ensayo fue ejecutado siguiendo los procedimientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales EM 2000, norma MTC E 206-2000, correspondiente a la determinación del peso específico y absorción de los agregados gruesos, la cual se fundamenta en los criterios de la norma internacional ASTM C127.

Los equipos empleados para su realización fueron los siguientes: horno de secado regulado a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, recipientes de pesaje, balanza de precisión y probeta graduada.

Descripción del proceso

El procedimiento se desarrolló siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- La muestra fue lavada minuciosamente con el propósito de eliminar todas las impurezas presentes, descartando previamente las partículas que pasen el tamiz N° 4.
- El material resultante fue sumergido en agua durante un período de 24 horas, garantizando su completa saturación.
- Una vez finalizado el periodo de inmersión, se vació el agua y se extendió el material sobre un paño limpio. A continuación, se dejó secar en la superficie, removiéndolo suavemente y manteniéndolo en contacto hasta que alcanzó el estado de seco superficialmente saturado (S.S.S.), en el que los poros interiores de las partículas estaban llenos de agua, pero su superficie exterior estaba seca. Una vez alcanzado este estado, se seleccionó y pesó una muestra de unos 2 kg y se registró el resultado.
- Se calibró la balanza con la canastilla sumergida en agua, asegurando la precisión de las mediciones posteriores.
- El material en condición S.S.S. fue colocado en la canastilla sumergida y se procedió a registrar su peso bajo el agua.

- El material pesado fue trasladado a un recipiente adecuado e introducido en el horno de secado durante 24 horas a la temperatura establecida.
- Al registrar el peso de la muestra tras el secado en horno, podemos obtener la densidad y la absorción de agua del árido grueso, dos parámetros fundamentales.

D. Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados

Mediante el ensayo de peso unitario, se puede determinar la densidad del árido tanto en su forma compactada como suelta, así como el número de huecos que hay en una cantidad determinada de árido grueso. El tamaño del árido no puede superar los 125 mm, o 5 pulgadas, según las dimensiones. El peso unitario y los huecos en los áridos se determinaron de acuerdo con las normas establecidas en el Manual de Ensayos de Materiales EM 2000, norma MTC E 203-2000. Estas normas se basan en los procesos de la norma internacional ASTM C29.

Los equipos empleados para su realización fueron los siguientes: balanza de precisión, varilla compactadora y recipientes de volúmenes adecuados según las especificaciones normativas.

Descripción del proceso

El procedimiento se desarrolló siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Los criterios reglamentarios de la prueba se cumplieron mejor utilizando un molde para briquetas cuyas dimensiones se correspondían con el tamaño nominal máximo (TNM) del árido, que en este caso era de aproximadamente 15 cm × 30 cm. Para cuantificar con precisión su volumen interior, se midieron su peso y sus dimensiones.
- Para la determinación del peso unitario compactado mediante apisonado, el material fue colocado en el molde en tres capas de igual volumen hasta colmarlo completamente. Cada capa recibió 25 golpes distribuidos uniformemente con el apisonador, teniendo especial cuidado de que este no impacte el fondo del molde ni perturbe las capas inferiores ya compactadas. Finalmente, se enrasó la superficie del molde con el mismo apisonador y se procedió al pesaje del conjunto molde más agregado.
- El método para calcular el peso específico a granel era bastante similar al anterior; la única diferencia era que no se utilizaba un pisón. En este caso, se empleaba una pala u otro equipo adecuado para verter el material desde una altura no superior a 5 cm por encima del borde superior del molde. A continuación, se nivelaba y se pesaba igual que antes.

Tenga en cuenta que se puede utilizar el mismo molde tanto para los áridos gruesos como para los finos, por lo que el proceso descrito es aplicable en ambos casos. La densidad aparente, obtenida a partir de los ensayos de

densidad y absorción de los áridos gruesos, se utilizó para determinar el índice de porosidad del árido.

Figura 12

Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado



E. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos

Basándose en los métodos de la norma internacional ASTM C136, este ensayo se llevó a cabo de conformidad con las normas establecidas en el Manual de Ensayos de Materiales EM 2000, en particular la norma MTC E 204-2000, que se refiere al análisis granulométrico de los áridos gruesos y finos.

Los equipos empleados para su realización fueron los siguientes: balanza con aproximación al 0,1% del peso del material ensayado; tamices normalizados de aberturas 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200, con su respectiva base y tapa; y horno de secado calibrado a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Descripción del proceso

El procedimiento se desarrolló siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- Como primera etapa, el material fue separado mediante el tamiz N° 4, clasificándose en dos fracciones: el material retenido en dicho tamiz, correspondiente al agregado grueso, y el material que atraviesa la malla, clasificado como agregado fino. Esta separación inicial resulta fundamental para garantizar la correcta ejecución del análisis granulométrico de cada fracción.
- Una vez obtenido el material en estado seco y libre de impurezas, se procedió a verterlo sobre el juego de tamices debidamente ordenados de mayor a menor abertura. El proceso de tamizado se ejecutó mediante la aplicación de golpes suaves y movimientos de rotación sobre el conjunto de tamices, continuando la operación hasta verificar que el peso retenido en cada tamiz permanece constante, lo que garantiza la correcta clasificación granulométrica del material.
- En el caso del agregado grueso, dada la mayor cantidad de material que lo caracteriza, la totalidad de la muestra fue sometida al proceso de tamizado pasando por cada uno de los tamices del juego, asegurando así una clasificación granulométrica completa y representativa.

- El material retenido en cada tamiz, incluyendo el depositado en la base del juego, fue pesado individualmente y registrado con precisión. Previamente al inicio del proceso de tamizado, se determinó el peso total de la muestra, valor que deberá compararse con la sumatoria de los pesos retenidos en cada malla al concluir el ensayo. La diferencia entre ambos valores no deberá exceder el 0,3% del peso total inicial, criterio que garantiza la confiabilidad y exactitud de los resultados obtenidos en el análisis granulométrico.

Figura 13

Gradación de los agregados



3.7.3. Diseño de mezclas

El diseño de mezclas constituye el proceso mediante el cual se establecen las características requeridas del concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido, así como las proporciones óptimas de los materiales necesarios para su elaboración. Un diseño y proporcionamiento adecuado debe garantizar que el concreto resultante reúna simultáneamente las condiciones de trabajabilidad, durabilidad, resistencia mecánica, uniformidad en su apariencia y

viabilidad económica. El procedimiento adoptado para la determinación de dichas proporciones se fundamenta en la metodología establecida por el método ACI 211.1, ampliamente reconocido y aplicado en el ámbito de la ingeniería del concreto a nivel internacional.

i. Selección del asentamiento

Cuando el asentamiento no se encuentra previamente especificado en el proyecto, el comité ACI proporciona valores de referencia para su selección en función del tipo de estructura en la que será empleado el concreto, orientando así la determinación de la trabajabilidad adecuada para cada aplicación.

ii. Resistencia promedio

Para determinar la resistencia media, es necesario comprobar si existen registros previos de la resistencia de probetas procedentes de investigaciones o proyectos anteriores, de conformidad con los capítulos 2 y 3 de la norma ACI 211.4. La resistencia media se determina a partir de la resistencia de cálculo f'_c , teniendo en cuenta los tres casos especificados por la normativa para su cálculo, en ausencia de precedentes documentados.

iii. Selección del tamaño máximo nominal

El tamaño nominal máximo es igual al de la malla más fina de la serie en la que se produce la primera retención, tal y como se menciona en el apartado 2.2.1.7.2.1 y de conformidad con la norma NTP 400.011. Los resultados del estudio de granulometría realizado sobre el árido grueso seleccionado para la mezcla proporcionan directamente este valor.

iv. Estimación del agua de mezclado

El ACI recomienda determinar el volumen de agua de mezclado en función del asentamiento requerido y del tamaño máximo nominal del agregado grueso que conformará la mezcla de concreto, proporcionando tablas de referencia para su estimación bajo distintas condiciones.

v. Estimación del contenido de aire

El contenido de aire presente en el concreto no necesariamente reduce su resistencia, dado que su origen se atribuye principalmente al aire atrapado durante el proceso de mezclado como consecuencia del aporte de los materiales constituyentes del hormigón. Su estimación debe realizarse considerando las condiciones específicas de la mezcla y el tipo de exposición previsto.

vi. Relación agua/cemento

La relación agua/cemento se determina en función de la resistencia a la compresión requerida para el tipo de concreto a elaborar, evaluada a los 28 días de edad, siguiendo los criterios y tablas establecidos por el método ACI 211.1.

vii. Contenido de cemento

El contenido de cemento se obtiene dividiendo el volumen unitario de agua de mezclado, determinado en el paso iv, entre la relación agua/cemento establecida en el paso vi, obteniéndose así la cantidad de cemento necesaria por unidad de volumen de concreto.

viii. Cálculo del volumen del agregado grueso

Puede consultar las tablas de la norma ACI 211 para calcular la cantidad de árido grueso necesaria. 1. El valor de este parámetro depende del tamaño nominal máximo del árido grueso y del módulo de finura del árido fino, que se determinaron previamente mediante el análisis granulométrico de los materiales.

ix. Cálculo del volumen del agregado fino

El volumen correspondiente al agregado fino se obtiene como la diferencia entre la unidad y la sumatoria de los volúmenes calculados para los demás componentes de la mezcla, constituyendo el último elemento que completa el proporcionamiento total del concreto.

x. Ajuste de mezcla por humedad de los agregados

Para tener en cuenta la humedad libre que los áridos aportan a la mezcla, se reduce el volumen de agua de amasado en una cantidad equivalente al ajuste por humedad de los áridos. Con el fin de mantener la relación agua-cemento dentro de los límites especificados, este ajuste se calcula restando la capacidad de absorción de los áridos de su contenido total de humedad.

3.7.3.1. Ensayos en estado fresco del concreto

Una vez determinado el diseño de mezclas, se procedió a ejecutar el vaciado del concreto en los moldes correspondientes. Previamente a dicha operación, resultó indispensable la realización de ensayos sobre el concreto en estado fresco, con el propósito de verificar y controlar el asentamiento o slump de la mezcla, parámetro fundamental que permite evaluar el grado de trabajabilidad del concreto y garantizar que este se encuentre dentro de los rangos establecidos en el diseño.

A. Ensayo de revenimiento o asentamiento en cono de Abrams (ASTM-C143)

La prueba se llevó a cabo siguiendo los protocolos establecidos en la norma ASTM C143. Se utilizó un molde troncocónico de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base y 10 cm de diámetro en la parte superior. Para compactar el hormigón una vez rellenado el molde, se utilizó una varilla de acero lisa con punta semiesférica y una longitud de 60 cm (Abanto, 1995).

Para realizar el ensayo se utilizaron una varilla lisa de 5/8" y un cono de Abrams.

Descripción del proceso

El procedimiento se desarrolló siguiendo los pasos que se describen a continuación:

- El molde fue colocado sobre una superficie plana previamente humedecida, manteniéndolo en posición fija mediante el apoyo sobre sus aletas laterales. A continuación, se vertió una primera capa de concreto hasta alcanzar aproximadamente un tercio del volumen total del molde, procediéndose a su compactación mediante la aplicación de 25 golpes distribuidos de manera uniforme con la varilla de acero.
- Seguidamente, se incorporaron dos capas adicionales siguiendo el mismo procedimiento, llenando cada una hasta un tercio del volumen y compactándolas con 25 golpes, asegurando en cada

caso que la varilla penetre ligeramente en la capa inmediatamente inferior para garantizar una adecuada cohesión entre capas.

- La tercera y última capa fue vertida en exceso con respecto al borde superior del molde, procediendo al enrasado de la superficie una vez concluida su compactación. Con el molde completamente lleno y enrasado, se procedió a su extracción mediante un levantamiento lento, uniforme y cuidadoso en dirección estrictamente vertical, evitando cualquier movimiento lateral que pudiera afectar los resultados.
- Una vez retirado el molde, el concreto fresco experimenta un asentamiento por efecto de su propio peso. La diferencia entre la altura del molde y la altura final alcanzada por la mezcla tras el asentamiento constituye el valor del slump, parámetro indicador de la trabajabilidad del concreto.

Cabe precisar que el tiempo total transcurrido desde el inicio hasta la conclusión del ensayo no debe exceder los 2 minutos, de los cuales el proceso de desmolde no debe tomar más de cinco segundos, condiciones que garantizan la validez y representatividad de los resultados obtenidos.

B. Ensayo de resistencia a compresión

Después de secado los testigos de concreto se procede a colocarlos en la máquina de compresión simple.

En este experimento, se aplica una carga axial constante a la sección superior de la sonda hasta que se rompe.

Al finalizar este ensayo se retira la probeta y se anota el valor de la carga de rotura. Se anota los siguientes parámetros: altura promedio de la probeta (cm), diámetro promedio de la probeta (cm), carga de falla del cilindro (kg) y el tipo de falla observada.

3.7.4. Proceso de congelamiento y deshielo

Con el propósito de someter los testigos de ensayo a condiciones de congelamiento controlado, se implementó un sistema de climatización artificial mediante el empleo de una cámara de congelación de temperatura graduable, la cual permitió simular las condiciones de bajas temperaturas características de la zona de estudio. Para los ciclos de deshielo, los testigos fueron expuestos a las condiciones de temperatura ambiente natural.

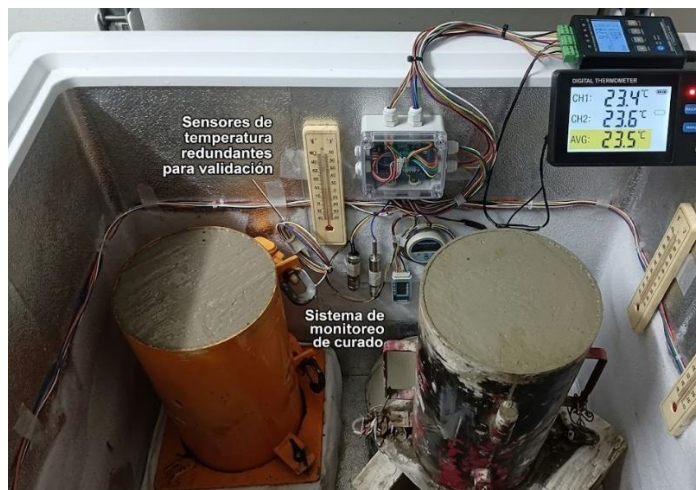
El proceso de congelamiento se ejecutó durante un período de 12 horas y 30 minutos, comprendido entre las 07:00 p.m. y las 07:30 a.m., manteniéndose la temperatura interior de la cámara de congelación en un rango de -5°C a -10°C durante toda la fase de enfriamiento.

Respecto al tiempo de introducción de los testigos a la cámara de congelación, se adoptaron las precauciones necesarias para evitar que el concreto sea expuesto a temperaturas de congelamiento durante su proceso de fraguado inicial, dado que dicha condición podría ocasionar alteraciones graves e irreversibles en la resistencia final del material, como consecuencia del congelamiento prematuro antes de alcanzar el fraguado definitivo. En consecuencia, los testigos fueron introducidos en la cámara de congelación transcurridas 8 horas desde el momento de su producción, período que garantiza el desarrollo mínimo necesario del proceso de fraguado inicial. Los moldes

metálicos empleados para el vaciado fueron retirados una vez transcurridas 24 horas desde la elaboración de los testigos.

Figura 14

Procedimiento de simulación de condiciones de congelamiento



Durante el día, los testigos se expondrán a la temperatura ambiente natural para que se observe el proceso de descongelamiento y, posteriormente, sean desencofrados e ingresen a la etapa de curado.

3.8. Método de análisis de datos

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados serán presentados y organizados mediante tablas y gráficos estadísticos, que permitirán visualizar y analizar de manera clara y sistemática el comportamiento de las variables estudiadas. Asimismo, dichos resultados serán contrastados con los parámetros y criterios establecidos en la normativa peruana del concreto vigente, con el propósito de evaluar el grado de cumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas.



3.9. Aspectos éticos

El desarrollo de la presente investigación se enmarca dentro de los principios y normativas éticas establecidas por la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez (UANCV), velando por el cumplimiento de los estándares que rigen la conducta responsable en el ámbito académico e investigativo. En este sentido, se han considerado aspectos fundamentales como la autenticidad y exactitud de la información utilizada, la originalidad del trabajo presentado, el reconocimiento y respeto de la propiedad intelectual de los autores consultados, la protección de los derechos humanos de los involucrados y las consideraciones éticas relacionadas con el bienestar de la fauna cuando sea aplicable, garantizando así que la investigación se desarrolle bajo criterios de plena transparencia e integridad científica.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Resultados de la investigación

El presente capítulo reúne y sistematiza la totalidad de los datos obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio realizados durante el desarrollo de la investigación. La información recopilada se presenta de manera organizada mediante tablas, gráficos y análisis estadísticos que permiten visualizar con claridad los resultados alcanzados en cada una de las pruebas ejecutadas. Complementariamente, se desarrolla una interpretación detallada de los datos, orientada a identificar y explicar las relaciones, tendencias y patrones de comportamiento más relevantes observados entre las variables de estudio, con el propósito de proporcionar un análisis integral y fundamentado de los resultados obtenidos.

4.1.1. Resultados de los agregados

Descripción comparativa de las propiedades físicas de los agregados de la cantera Isla:

Las características de los áridos finos y gruesos se compararon mediante ensayos de laboratorio realizados para caracterizar los áridos de la cantera de Isla; los resultados de estos ensayos se analizan en la siguiente sección.

En cuanto al contenido de humedad, el agregado fino registró un valor de 3,52%, ligeramente superior al 3,09% obtenido para el agregado grueso, diferencia atribuible a la mayor superficie específica de las partículas finas, que favorece una mayor retención de humedad en comparación con las partículas de mayor tamaño.

Respecto al módulo de finura, el agregado grueso presentó un valor de 7,21, notablemente superior al 5,37 del agregado fino, resultado coherente con la naturaleza granulométrica de cada material, dado que valores más elevados indican una distribución granulométrica más gruesa.

En lo referente al peso específico, se observó una diferencia significativa entre ambos materiales: el agregado grueso alcanzó un valor de 2,50 g/cm³, considerablemente mayor al 1,67 g/cm³ registrado para el agregado fino, lo que indica que las partículas gruesas presentan mayor densidad y menor porosidad interna respecto a las partículas finas.

Con relación a la absorción, ambos agregados mostraron valores similares, siendo de 2,04% para el agregado fino y de 2,10% para el agregado grueso, evidenciando una capacidad de retención de agua prácticamente equivalente en ambos materiales, con una diferencia mínima de apenas 0,06%.

En cuanto a los pesos unitarios, tanto en condición suelta como compactada, el agregado fino presentó valores superiores a los del agregado grueso. El peso unitario suelto del agregado fino fue de 1,59 g/cm³ frente a 1,51 g/cm³ del agregado grueso, mientras que en condición compactada el agregado

fino alcanzó $1,80 \text{ g/cm}^3$ en comparación con los $1,68 \text{ g/cm}^3$ del agregado grueso. Esta diferencia se explica por la mayor capacidad de empaquetamiento de las partículas finas en comparación con las partículas de mayor tamaño, que generan vacíos más significativos entre sí.

Por último, el tamaño nominal máximo del árido grueso se fijó en 1 pulgada. Este parámetro es fundamental para determinar las proporciones en el diseño de la mezcla de hormigón, pero no se aplica al árido fino.

Los resultados obtenidos para ambos áridos se encuentran, en general, dentro de los rangos aceptables establecidos por las normas técnicas peruanas vigentes, lo que sugiere que los materiales de la cantera de Isla son adecuados y de buena calidad para la fabricación del hormigón objeto de este estudio.

4.1.2. Resultados para el diseño de mezclas

Tabla 9

Cantidad de materiales corregidos por m^3

Material	Concreto natural	1.5% aditivo superplastificante	1.5% aditivo nanosilice
Cemento	358.12	358.12	358.12
Agua	186.21	186.21	186.21
A. Grueso	979.08	979.08	979.08
A. Fino	756.78	756.78	756.78
A. Sperplastificante	-	5.371	-
A. Nanosilice	-	-	5.371

Tomando como referencia los datos obtenidos en el proceso de diseño de mezclas descrito en la sección precedente, se procedió a elaborar tres muestras de prueba con el propósito de verificar y ajustar las proporciones de los

materiales constituyentes. Una vez completadas las 27 muestras de prueba y analizados sus resultados, se establecieron las dosificaciones definitivas correspondientes a cada una de las mezclas de estudio: el concreto patrón (CP), elaborado sin adición de ningún componente especial; la mezcla con incorporación del 1,5% de aditivo superplastificante (AS); y la mezcla con adición del 1,5% de aditivo nanosílice (NS), siendo ambos porcentajes calculados en relación al peso del cemento empleado en cada mezcla.

4.1.3. Ensayo del asentamiento

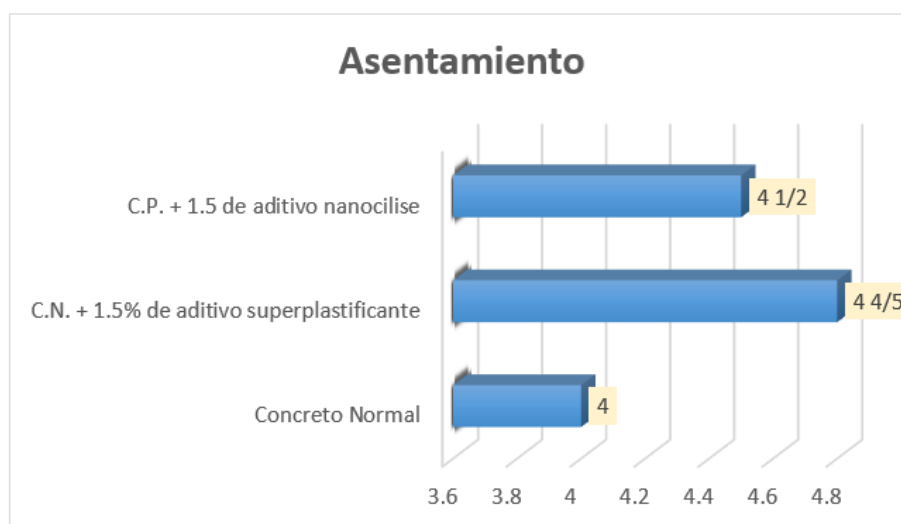
Tabla 10

Resumen del asentamiento de las muestras

Muestra	Asentamiento	Consistencia
Concreto Normal	4"	Estado plástico
C.N. + 1.5% de aditivo superplastificante	4"	Estado plástico
C.N. + 1.5 de aditivo nanocilise	3 1/2	Estado plástico

La Tabla 10 presenta un estudio comparativo del comportamiento reológico de tres mezclas de concreto mediante el ensayo de asentamiento (slump test) según ASTM C143. El concreto normal (patrón) registró 4 pulgadas de asentamiento, clasificándose en consistencia plástica adecuada para aplicaciones estructurales convencionales. La muestra con 1.5% de aditivo superplastificante mantuvo el mismo asentamiento de 4 pulgadas, indicando que este reductor de agua de alto rango optimizó la relación agua/cemento sin comprometer la trabajabilidad, permitiendo una reducción potencial del contenido de agua entre 12-30% y mejorando las propiedades mecánicas del

concreto endurecido. La muestra con 1.5% de nanosílice experimentó una reducción del 12.5% en el asentamiento (3 1/2 pulgadas), comportamiento atribuible a la elevada superficie específica de las nanopartículas (200-400 m²/g) que incrementa la demanda de agua y viscosidad de la pasta; sin embargo, se mantuvo en estado plástico con características adecuadas para su colocación. Los resultados evidencian que el superplastificante optimiza la trabajabilidad manteniendo o reduciendo el agua, mientras la nanosílice aporta densificación y efecto puzolánico con ligera pérdida de fluidez, sugiriendo que una combinación sinérgica de ambos aditivos maximizaría tanto la trabajabilidad como las propiedades del concreto de alto desempeño.

Figura 15*Resultados de revenimiento*

En la figura 15 se muestran los resultados porcentuales del ensayo de asentamiento para el diseño de la mezcla de 210 kg/cm². La imagen ilustra cómo varía el asentamiento con el tiempo en función de la cantidad de aditivos utilizados. Concretamente, los resultados demuestran que el asentamiento

aumenta al incrementar las cantidades de aditivos superplastificantes (SP) y nanosílice (NS), observándose valores más elevados para dosis del 1,5 % de SP y del 1,5 % de NS, respectivamente, en comparación con el peso del cemento. A partir de este comportamiento, se puede deducir que la cantidad de aditivo utilizada en la mezcla tiene una correlación directa con la fluidez y la trabajabilidad del hormigón fresco, lo que a su vez conduce a mejores condiciones de colocación y compactación.

Figura 16

prueba de asentamiento



4.1.4. Resultados de resistencia a compresión

Tabla 11

Resistencia promedio de concreto normal expuestos a congelamiento

Muestra	Congelamiento	Temperatura	Edad	Esfuerzo de rotura
Probeta de concreto			7	85.59
Probeta de concreto	CN	-0 a -15	14	112.56
Probeta de concreto			28	147.57

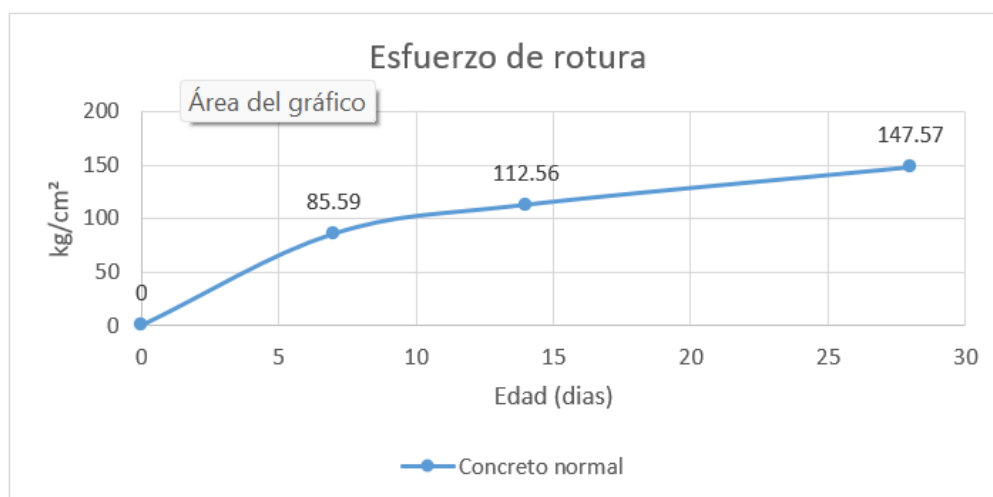
Se evaluaron probetas de hormigón estándar (SC) a los 7, 14 y 28 días de maduración para determinar su resistencia media a la compresión a temperaturas que oscilaban entre 0 °C y -15 °C; los resultados se muestran en la Tabla 11.

Según los datos, a medida que el hormigón madura, su resistencia a la compresión aumenta de forma gradual y constante. El hormigón se va endureciendo continuamente; a los 7 días de edad, su tensión de rotura era de 85,59 kg/cm², lo que supone entre el 57 % y el 96 % de la resistencia de diseño de 210 kg/cm². A los 14 días, la resistencia había aumentado hasta 112,56 kg/cm², lo que supone el 53,60 % de la resistencia de diseño. Esto supone una mejora del 31,50 % con respecto al resultado de los 7 días. Por último, tras 28 días, el material alcanzó una tensión de rotura de 147,57 kg/cm², lo que equivale al 70,27 % de la resistencia de diseño de 210 kg/cm². Es importante destacar que los valores obtenidos a las tres edades evaluadas no alcanzaron la resistencia de diseño establecida, situación atribuible al efecto perjudicial de los ciclos de congelamiento sobre el proceso de hidratación y endurecimiento del concreto.

Este comportamiento confirma que la exposición del concreto a temperaturas bajo cero durante su proceso de curado compromete significativamente el desarrollo de su resistencia mecánica, evidenciando la necesidad de incorporar medidas de protección o aditivos que mitiguen el impacto del congelamiento sobre las propiedades del material.

Figura 17

Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado

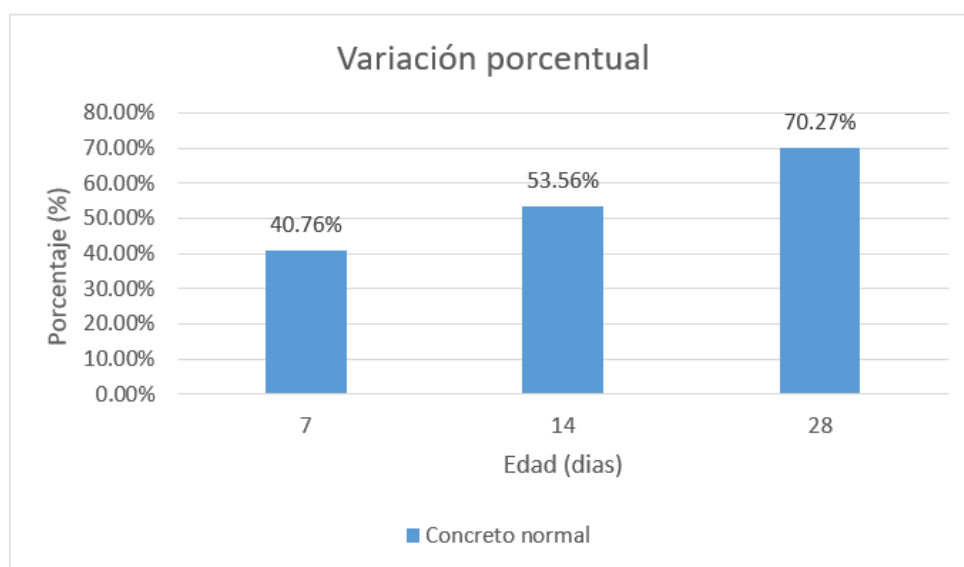


La Figura 17 ilustra el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto normal sometido a condiciones de congelamiento en función de la edad de curado. La curva muestra un comportamiento ascendente progresivo, registrando valores de 85,59 kg/cm² a los 7 días, 112,56 kg/cm² a los 14 días y 147,57 kg/cm² a los 28 días. Se aprecia que la mayor tasa de ganancia de resistencia ocurre entre los 0 y 7 días, período en el que la curva presenta su pendiente más pronunciada, mientras que entre los 14 y 28 días el incremento se torna más gradual. No obstante, el valor alcanzado a los 28 días resulta inferior a la resistencia de diseño de 210 kg/cm², evidenciando el efecto

perjudicial de las temperaturas de congelamiento sobre el desarrollo mecánico del concreto.

Figura 18

Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con y sin exposición a ciclos de hielo-deshielo



La Figura 18 presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión del concreto normal expuesto a ciclos de hielo-deshielo en comparación con el concreto sin exposición a dichas condiciones, evaluada a los 7, 14 y 28 días de edad. Los resultados evidencian una tendencia creciente en la variación porcentual conforme avanza la edad del concreto, registrándose valores de 40,76% a los 7 días, 53,56% a los 14 días y 70,27% a los 28 días. Este comportamiento indica que, si bien el concreto expuesto a ciclos de hielo-deshielo continúa desarrollando resistencia con el tiempo, la brecha respecto al concreto sin exposición se incrementa progresivamente, evidenciando que el

efecto acumulativo de los ciclos de congelamiento afecta de manera cada vez más significativa el desarrollo de la resistencia mecánica del material.

4.1.5. Resistencia a compresión con aditivo superplastificante

Tabla 12

Resistencia promedio de concreto normal con 1.5% aditivo superplastificante expuestos a congelamiento

Muestra	Congelamiento	Temperatura	Edad	Esfuerzo de rotura
Probeta de concreto			7	125.10
Probeta de concreto	CN	-0 a -15	14	160.82
Probeta de concreto			28	213.63

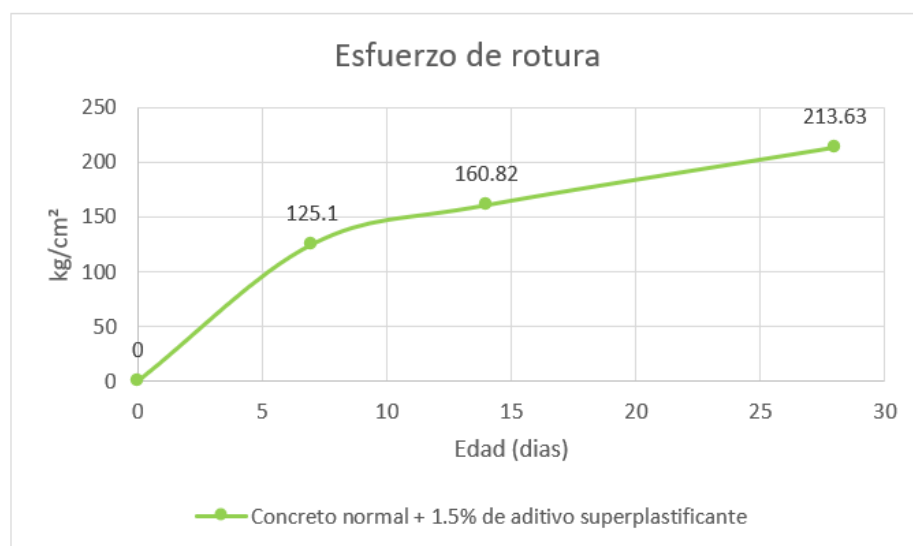
La Tabla 12 presenta la evolución de la resistencia a compresión de especímenes de concreto modificado con 1.5% de aditivo superplastificante, sometidos a condiciones de congelamiento (CN) en el rango de temperatura de -0°C a -15°C, evaluados a edades de 7, 14 y 28 días.

Los resultados muestran un comportamiento progresivo ascendente de la resistencia mecánica: a los 7 días se registró un esfuerzo de rotura de 125.10 kg/cm² (o MPa, según las unidades del estudio), incrementándose a 160.82 kg/cm² a los 14 días (aumento del 28.6% respecto a los 7 días) y alcanzando 213.63 kg/cm² a los 28 días (incremento del 32.8% respecto a los 14 días y 70.8% respecto a los 7 días). Este comportamiento evidencia que, a pesar de la exposición a temperaturas de congelamiento, el concreto con superplastificante mantiene un desarrollo continuo de resistencia, atribuible a la optimización de la relación agua/cemento proporcionada por el aditivo, que reduce la porosidad

capilar y mejora la densidad de la matriz cementicia. La progresión de resistencia indica que el proceso de hidratación del cemento continúa incluso bajo condiciones adversas de temperatura, aunque posiblemente a una tasa reducida comparada con condiciones de curado estándar ($23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). Los valores obtenidos sugieren que el superplastificante no solo mejora la trabajabilidad inicial, sino que también confiere al concreto una mayor resistencia a los efectos deletéreos del congelamiento, probablemente debido a la reducción del agua libre susceptible de expansión durante la formación de hielo, lo cual minimiza las tensiones internas y el microagrietamiento de la estructura del concreto.

Figura 19

Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado con 1.5% aditivo superplastificante sometidos a ciclos de hielo-deshielo

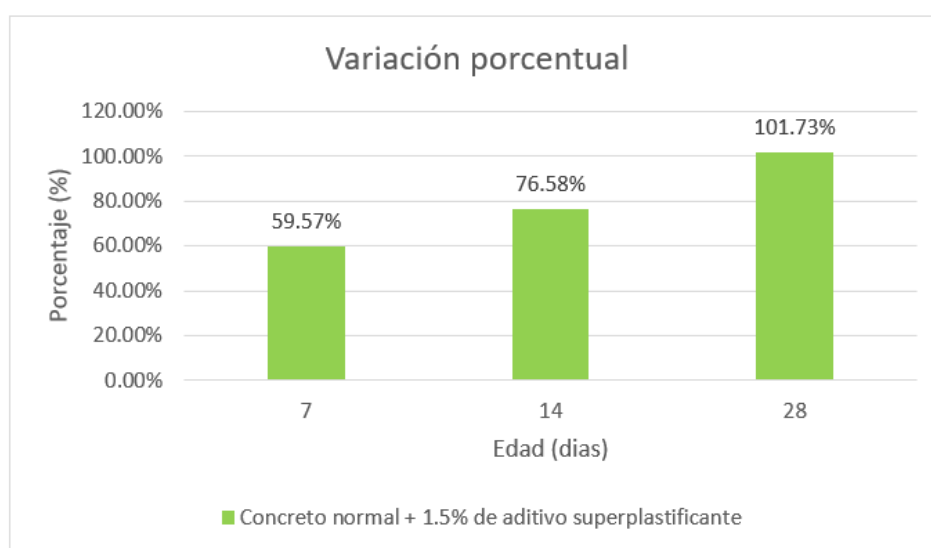


La Figura 19 muestra la evolución de la resistencia a compresión del concreto con 1.5% de superplastificante bajo ciclos de hielo-deshielo, evaluado a 7, 14 y 28 días. La curva presenta un comportamiento ascendente continuo, registrando valores de 125.1 kg/cm² a los 7 días, 160.82 kg/cm² a los 14 días y

213.63 kg/cm² a los 28 días, representando un incremento total del 70.8%. El gráfico evidencia una pendiente pronunciada inicial durante los primeros 7 días, seguida de una ganancia moderada pero sostenida hasta los 28 días. Este comportamiento demuestra que el superplastificante optimiza la estructura del concreto, reduciendo el agua libre y minimizando el daño por expansión del hielo, lo que permite mantener el desarrollo progresivo de resistencia mecánica incluso bajo condiciones adversas de congelamiento cíclico, validando su eficacia como aditivo protector en ambientes de bajas temperaturas.

Figura 20

Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con 1.5% aditivo superplastificante sometidos a ciclos de hielo-deshielo



La Figura 20 muestra la variación porcentual de resistencia del concreto con 1.5% de superplastificante bajo ciclos de hielo-deshielo, presentando valores de 59.57% a los 7 días, 76.58% a los 14 días y 101.73% a los 28 días. El gráfico de barras evidencia una progresión ascendente continua, indicando que el concreto no solo mantiene su resistencia bajo condiciones adversas, sino que la

incrementa significativamente con el tiempo, superando el 100% a los 28 días. Este comportamiento demuestra que el superplastificante optimiza la estructura del concreto al reducir la porosidad y el agua libre susceptible de congelamiento, minimizando el daño por formación de hielo y permitiendo la continuidad del proceso de hidratación, lo que valida su efectividad como agente protector en ambientes de temperaturas extremas.

4.1.6. Resistencia a compresión con aditivo nanosilice

Tabla 13

*Resistencia promedio de concreto normal con 1.5% aditivo nanosilice
expuestos a congelamiento*

Muestra	Congelamiento	Temperatura	Edad	Esfuerzo de rotura
Probeta de concreto	CN	-0 a -15	7	158.36
Probeta de concreto			14	182.144
Probeta de concreto			28	239.81

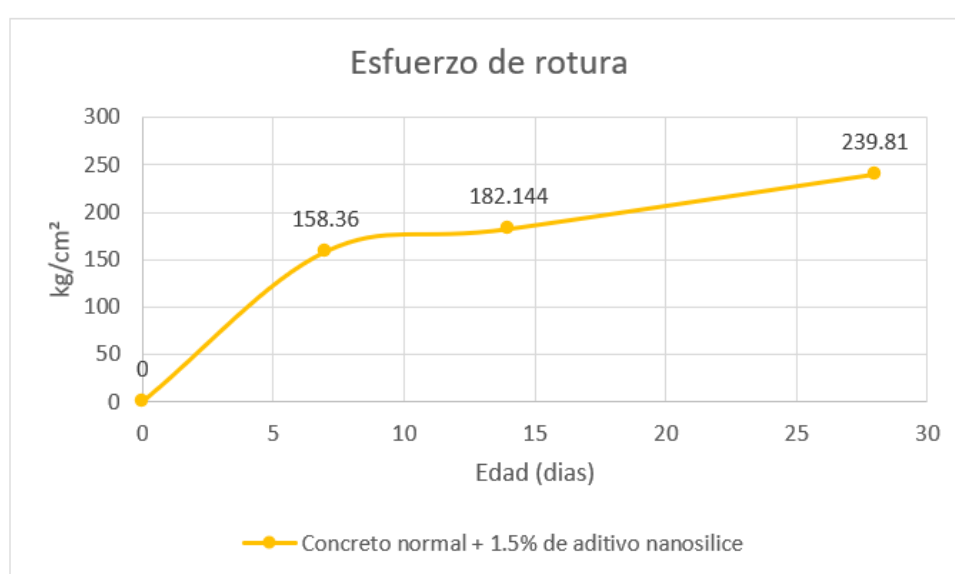
La resistencia a la compresión de las probetas de hormigón tratadas con un 1,5 % de nanosílice ($nSiO_2$) varió con el tiempo cuando se evaluó a los 7, 14 y 28 días tras haber sido expuestas a condiciones de congelación (FC) entre 0 y -15 grados Celsius. Estos datos se recogen en la Tabla 13.

La resistencia mecánica muestra un fuerte y progresivo aumento: a los 7 días era de 158,36 kg/cm², a los 14 días fue de 182,144 kg/cm² (un aumento del 15,0 % en comparación con los 7 días), y a los 28 días alcanzó los 239,81 kg/cm² (un aumento del 31,7 % en comparación con los 14 días y del 51,4 % en comparación con los 7 días). Este comportamiento evidencia que el concreto con

nanosílice no solo mantiene su capacidad de desarrollo de resistencia bajo condiciones adversas de congelamiento, sino que presenta valores superiores comparados con el concreto con superplastificante (Tabla 12: 125.10, 160.82, 213.63 kg/cm²), con incrementos de 26.6% a los 7 días, 13.2% a los 14 días y 12.3% a los 28 días. La superior resistencia se atribuye a los efectos sinérgicos de la nanosílice: el efecto puzolánico acelerado que consume el hidróxido de calcio generando gel C-S-H adicional, el efecto de relleno que densifica la matriz cementicia reduciendo la porosidad capilar, y el efecto de nucleación que acelera la hidratación del cemento. Estos mecanismos reducen significativamente el agua libre y refinan la estructura porosa, minimizando las tensiones internas por expansión del hielo durante los ciclos de congelamiento y mejorando la durabilidad del material en ambientes de bajas temperaturas.

Figura 21

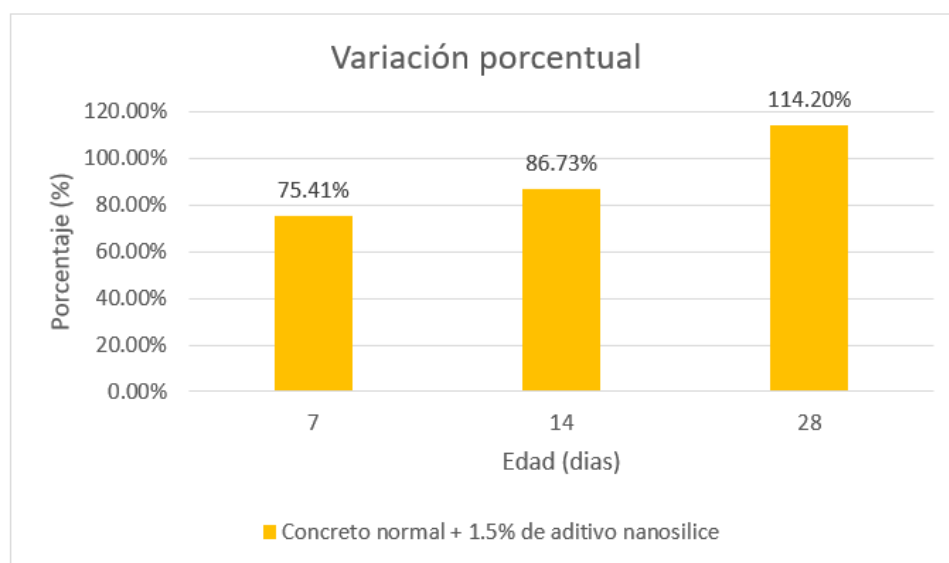
Desarrollo de la resistencia a compresión según edad de curado con 1.5% aditivo nanosílice sometidos a ciclos de hielo-deshielo



La Figura 21 presenta la curva de evolución de la resistencia a compresión del concreto modificado con 1.5% de nanosílice bajo ciclos de hielo-deshielo, evaluado a 7, 14 y 28 días. El gráfico muestra un comportamiento ascendente con valores de 158.36 kg/cm² a los 7 días, 182.144 kg/cm² a los 14 días y 239.81 kg/cm² a los 28 días, representando un incremento total del 51.4%. La curva exhibe una pendiente muy pronunciada durante los primeros 7 días debido al efecto acelerado de la nanosílice (efecto puzolánico y de nucleación), seguida de una ganancia más moderada pero continua hasta los 28 días. Este comportamiento superior al del superplastificante (213.63 kg/cm² a 28 días) demuestra que la nanosílice densifica significativamente la matriz cementicia, reduce la porosidad capilar y minimiza el agua libre susceptible de congelamiento, proporcionando mayor resistencia mecánica y durabilidad en condiciones de temperaturas extremas con ciclos de congelamiento-deshielo.

Figura 22

Diferencia porcentual de resistencia entre concreto normal con 1.5% aditivo nanosílice sometidos a ciclos de hielo-deshielo



La Figura 22 muestra la variación porcentual de resistencia del concreto con 1.5% de nanosílice bajo ciclos de hielo-deshielo, presentando valores de 75.41% a los 7 días, 86.73% a los 14 días y 114.20% a los 28 días. El gráfico de barras evidencia una progresión ascendente sostenida, destacando que a los 28 días el concreto supera el 100% de resistencia relativa, indicando que alcanza y excede la resistencia del concreto de referencia (probablemente sin exposición a congelamiento o concreto patrón). Los incrementos de 11.32% entre 7-14 días y 27.47% entre 14-28 días demuestran que la nanosílice no solo protege al concreto del daño por congelamiento, sino que potencia significativamente su desarrollo de resistencia. Este comportamiento superior se atribuye a los efectos sinérgicos de la nanosílice: densificación de la matriz cementicia por efecto puzolánico acelerado, refinamiento de la estructura porosa por efecto de relleno nanométrico, y reducción del agua libre susceptible de formar hielo. Comparado con el superplastificante (101.73% a 28 días), la nanosílice muestra un desempeño 12.3% superior, validando su efectividad como aditivo de alto rendimiento en ambientes de temperaturas extremas.

4.2 Discusión

Los resultados experimentales revelan diferencias significativas en el comportamiento mecánico del concreto modificado con 1.5% de superplastificante versus 1.5% de nanosílice cuando ambos son sometidos a condiciones extremas de ciclos de hielo-deshielo en el rango de temperaturas de -0°C a -15°C . El análisis comparativo de resistencia a compresión muestra que la nanosílice proporciona valores consistentemente superiores en todas las edades de curado evaluadas. A los 7 días, el concreto con nanosílice alcanzó

158.36 kg/cm², superando en 26.6% al concreto con superplastificante que registró 125.10 kg/cm². Esta diferencia se mantiene a los 14 días con valores de 182.144 kg/cm² para nanosílice versus 160.82 kg/cm² para superplastificante (diferencia del 13.2%), y a los 28 días con 239.81 kg/cm² versus 213.63 kg/cm² respectivamente (diferencia del 12.3%). Estos resultados demuestran que la ventaja de la nanosílice es más pronunciada a edades tempranas, lo que sugiere un efecto acelerador de la hidratación del cemento más efectivo que el proporcionado por el superplastificante.

Los mecanismos de protección y desarrollo de resistencia de ambos aditivos presentan diferencias fundamentales que explican los resultados observados. El aditivo superplastificante actúa principalmente como dispersante de partículas de cemento mediante repulsión electrostática, optimizando la relación agua/cemento y mejorando la trabajabilidad sin comprometer la resistencia. Su protección bajo congelamiento se basa en la reducción de agua libre al mejorar la dispersión del cemento, la densificación moderada mediante mejor empaquetamiento de partículas que reduce la porosidad capilar, y la facilitación de la continuidad del proceso de hidratación a pesar de las bajas temperaturas. El incremento de resistencia del 70.8% entre 7 y 28 días evidencia un desarrollo progresivo y sostenido, aunque partiendo de una resistencia inicial relativamente baja. Por otro lado, la nanosílice presenta mecanismos múltiples y sinérgicos que explican su superior desempeño: el efecto puzolánico acelerado donde las nanopartículas de SiO₂ reaccionan rápidamente con el Ca(OH)₂ producido durante la hidratación generando gel C-S-H adicional de alta densidad; el efecto de relleno nanométrico donde partículas de tamaño entre 10-

100 nm rellenan los espacios intersticiales refinando significativamente la estructura porosa; el efecto de nucleación donde las nanopartículas actúan como sitios de nucleación heterogénea acelerando la formación de productos de hidratación; y la reducción crítica de porosidad capilar que minimiza drásticamente el agua libre y los poros susceptibles a presiones internas por expansión del hielo.

El análisis de la variación porcentual relativa proporciona información adicional sobre el desempeño comparativo de ambos aditivos respecto a un concreto de referencia. El superplastificante mostró valores de 59.57% a los 7 días, 76.58% a los 14 días y 101.73% a los 28 días, mientras que la nanosílice presentó 75.41%, 86.73% y 114.20% respectivamente. Ambos aditivos permiten que el concreto alcance y supere el 100% de resistencia relativa a los 28 días, pero la nanosílice presenta valores consistentemente superiores en todas las edades, alcanzando una diferencia de 12.47 puntos porcentuales a los 28 días. Este comportamiento indica que la nanosílice no solo protege mejor contra el daño por congelamiento, sino que potencia activamente el desarrollo de resistencia mediante sus efectos puzolánicos, mientras que el superplastificante principalmente preserva la capacidad de desarrollo mediante la optimización reológica de la mezcla.

Desde una perspectiva técnica y económica, ambos aditivos presentan ventajas específicas que deben considerarse según los requerimientos del proyecto. La nanosílice ofrece resistencia inicial superior, lo cual es crítico para operaciones de desencofrado temprano y aceleración de cronogramas de construcción; mayor resistencia final con un incremento del 12.3% a los 28 días;

mejor protección contra daño por hielo debido a su menor porosidad; y durabilidad superior a largo plazo. Por su parte, el superplastificante proporciona mejora significativa de trabajabilidad facilitando el bombeo y colocación del concreto especialmente en secciones densamente armadas; menor costo por kilogramo de aditivo; y un desarrollo de resistencia aceptable alcanzando 101.73% de resistencia relativa a los 28 días. Para aplicaciones en zonas de clima extremo con ciclos de hielo-deshielo, la nanosílice presenta ventajas técnicas claras cuando se requiere alta resistencia temprana, máxima durabilidad en estructuras expuestas, o reducción de permeabilidad para protección contra ingreso de agentes agresivos. Sin embargo, el superplastificante puede ser preferible cuando la trabajabilidad es crítica, existen restricciones presupuestarias importantes, o la resistencia final de 213.63 kg/cm² es suficiente para el diseño estructural específico.

Los resultados obtenidos sugieren que una combinación optimizada de ambos aditivos podría proporcionar beneficios sinérgicos significativos. El superplastificante mejoraría la trabajabilidad y dispersión del cemento, mientras que la nanosílice proporcionaría el efecto puzolánico, de relleno y de nucleación, permitiendo potencialmente reducir las dosificaciones individuales y optimizar costos. Investigaciones futuras deberían evaluar proporciones como 0.75% superplastificante + 0.75% nanosílice, o 1.0% superplastificante + 0.5% nanosílice, para determinar la combinación óptima que maximice tanto las propiedades en estado fresco como las propiedades mecánicas y de durabilidad en estado endurecido bajo condiciones de congelamiento.

En conclusión, la nanosílice al 1.5% supera consistentemente al superplastificante al 1.5% en términos de resistencia mecánica bajo ciclos de hielo-deshielo, con diferencias de +26.6%, +13.2% y +12.3% a 7, 14 y 28 días respectivamente. Los mecanismos de protección son fundamentalmente diferentes: el superplastificante actúa principalmente por optimización reológica y reducción de agua, mientras que la nanosílice proporciona densificación activa mediante efectos puzolánicos, de relleno y de nucleación. Ambos aditivos permiten que el concreto supere el 100% de resistencia relativa a los 28 días, validando su efectividad como agentes protectores en ambientes de congelamiento, aunque la nanosílice alcanza 114.20% versus 101.73% del superplastificante. La selección del aditivo debe considerar factores técnicos y económicos específicos del proyecto, siendo la nanosílice superior técnicamente pero el superplastificante ofreciendo ventajas de trabajabilidad y costo que pueden ser determinantes según las condiciones particulares. Se recomienda investigar combinaciones sinérgicas de ambos aditivos para optimizar simultáneamente trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad en condiciones de temperaturas extremas, lo que podría representar una solución técnica y económicamente óptima para construcciones en climas fríos con ciclos de hielo-deshielo.

CONCLUSIONES

Primera: Las características mecánicas del hormigón sometido a ciclos de congelación-descongelación en la región de San Miguel se ven afectadas de forma positiva y significativa por la incorporación de un superplastificante y nanosílice en una proporción del 1,5 % del peso del cemento. Tanto el hormigón modificado con nanosílice como el modificado con superplastificante mostraron mayores resistencias tras 28 días, alcanzando el primero 239,81 kg/cm² y el segundo 213,63 kg/cm², respectivamente. En las mismas condiciones de congelación, el hormigón normal solo alcanzó los 147,57 kg/cm². Estos resultados respaldan la premisa general de la investigación de que la adición de aditivos es una forma práctica de reducir el impacto negativo de las bajas temperaturas en el desarrollo de la resistencia del hormigón.

Segunda: La trabajabilidad del concreto evaluada mediante el ensayo de asentamiento evidenció que tanto el aditivo superplastificante como la nanosílice en dosificación del 1.5% mantienen condiciones adecuadas de fluidez y manejabilidad en estado fresco. El concreto con superplastificante conservó un asentamiento de 4 pulgadas, idéntico al concreto normal, demostrando que este aditivo optimiza la relación agua/cemento sin comprometer la trabajabilidad, permitiendo una reducción potencial del contenido de agua entre 12-30% y mejorando las propiedades mecánicas del concreto endurecido. Por su parte, el concreto con nanosílice experimentó una reducción del 12.5% en el asentamiento, registrando 3½ pulgadas, comportamiento atribuible a la elevada superficie específica de las nanopartículas que incrementa la demanda de agua y viscosidad de la pasta; sin embargo, se mantuvo en estado plástico con

características adecuadas para su colocación y compactación, confirmando que ambos aditivos proporcionan condiciones de trabajabilidad satisfactorias para aplicaciones constructivas en zonas de clima frío.

Tercera: El hormigón con un 1,5 % de superplastificante mostró un aumento de la resistencia a la compresión del 46,2 % a los 7 días, del 42,9 % a los 14 días y del 44,8 % a los 28 días, en comparación con el hormigón normal sin aditivos, que registró 85,59 kg/cm², 112,56 kg/cm² y 147,57 kg/cm² a las mismas edades, respectivamente. Al final del día 28, el hormigón había alcanzado una resistencia relativa del 101,73 %, superior a la resistencia de referencia, gracias a un crecimiento acumulado del 70,8 % desde el inicio del experimento. Este comportamiento demuestra la hidratación continua del cemento a pesar de las condiciones térmicas críticas que oscilan entre -0 °C y -15 °C, lo que indica que el superplastificante reduce con éxito los efectos negativos de la congelación al optimizar la relación agua-cemento, disminuir la porosidad capilar y reducir el agua libre susceptible de expandirse durante la formación de hielo.

Cuarta: La resistencia a compresión del concreto con adición del 1.5% de aditivo nanosílice sometido a ciclos de hielo y deshielo alcanzó valores de 158.36 kg/cm² a los 7 días, 182.144 kg/cm² a los 14 días y 239.81 kg/cm² a los 28 días, representando incrementos del 85.0%, 61.9% y 62.5% respectivamente en comparación con el concreto normal, y superando al concreto con superplastificante en 26.6%, 13.2% y 12.3% a las mismas edades. El incremento acumulado del 51.4% entre los 7 y 28 días, alcanzando 114.20% de resistencia relativa a los 28 días, evidencia que la nanosílice no solo protege al concreto del



daño por congelamiento, sino que potencia activamente el desarrollo de resistencia mediante mecanismos sinérgicos: el efecto puzolánico acelerado que genera gel C-S-H adicional de alta densidad, el efecto de relleno nanométrico que densifica la matriz cementicia reduciendo la porosidad capilar a escala nanométrica, y el efecto de nucleación que acelera la hidratación del cemento. Estos mecanismos reducen significativamente el agua libre y refinan la estructura porosa, minimizando las tensiones internas por expansión del hielo y confiriendo al concreto una resistencia inicial superior (26.6% mayor a los 7 días) y una resistencia final óptima, validando a la nanosílice como el aditivo de mayor efectividad para garantizar la integridad estructural y durabilidad del concreto en ambientes de bajas temperaturas con ciclos de hielo-deshielo característicos del distrito de San Miguel.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar investigaciones complementarias que evalúen la combinación sinérgica de ambos aditivos en diferentes proporciones (por ejemplo: 0.75% superplastificante + 0.75% nanosílice, o 1.0% superplastificante + 0.5% nanosílice) con el propósito de optimizar simultáneamente la trabajabilidad, la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto, así como reducir los costos de producción mediante la disminución de las dosificaciones individuales, buscando alcanzar o superar la resistencia de diseño de 210 kg/cm² bajo condiciones de congelamiento.

Se recomienda desarrollar estudios sobre el momento óptimo de exposición al congelamiento. En la presente investigación, los testigos fueron sometidos a temperaturas de congelamiento 8 horas después de su producción; sin embargo, resulta necesario evaluar el impacto del congelamiento a diferentes edades tempranas (4, 6, 10, 12 y 24 horas) para determinar el período crítico en el cual el concreto es más vulnerable y establecer protocolos específicos de protección térmica que minimicen el daño por congelamiento prematuro durante el proceso de fraguado inicial.

Se sugiere ampliar el alcance de la investigación evaluando otras propiedades mecánicas y físicas del concreto modificado con superplastificante y nanosílice bajo condiciones de congelamiento, tales como: resistencia a la flexión, resistencia a la tracción indirecta, módulo de elasticidad, permeabilidad, absorción capilar, porosidad, resistencia al desgaste por abrasión y comportamiento ante ciclos prolongados de hielo-deshielo (más de 28 días), con



el fin de obtener una caracterización integral del material y validar su desempeño a largo plazo en aplicaciones estructurales críticas.

Se recomienda evaluar el comportamiento del concreto modificado con estos aditivos en elementos estructurales reales (vigas, columnas, losas) y no solo en probetas de laboratorio, sometidos a condiciones naturales de exposición en campo durante períodos prolongados (6 meses, 1 año, 2 años), con el propósito de validar los resultados obtenidos en condiciones controladas y verificar el desempeño real del material en aplicaciones constructivas bajo las variaciones climáticas características del distrito de San Miguel y zonas similares del altiplano peruano.

BIBLIOGRAFÍA

Abanto, F. (1996). tecnología del concreto (teoría y problemas). Lima, Peru: San Marcos.

Aguilar, A., & Gonzales, R. (2017). Análisis y evaluación del comportamiento a la fatiga de un pavimento rígido con fibra plástica de polipropileno en el Altiplano. (tesis de pregrado). Nestor Cáceres Velásquez, Puno, Peru.

Amacifuen, R. W. (2002). Curado y protección de concretos colocados en climas fríos. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Peru.

Cruzado, H. Y., & Rivera, B. (2019). Influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Peru.

Dionicio, E. A. (2019). Grado de correlación entre el clima antártico con las heladas en las provincias de Juliaca y Puno entre los años 2006-2016. (tesis de licenciatura). Fuerza aérea del Perú escuela de oficiales, Lima, Peru.

Flores, R. E., & Quispe, M. J. (2021). Evaluación de la adición de aditivo incorporador de aire para mejorar la resistencia del concreto a bajas temperaturas, Puno-2020. (tesis de pregrado). Cesar Vallejo, Lima, Peru.

Gonzales, P. H. (2018). Evaluación de la eficiencia del uso de aditivos en la producción de concreto a bajas temperaturas en la región Puno. (tesis de pregrado). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Puno, Peru.



Hernandez, N. (2010). Nota Tecnica: Efecto del curado sobre un concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm². Revista INGENIERÍA UC, 17(3), 92–96.

Isidro, G. (2017). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto f'c 210 kg/cm². (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.

Javier, C., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. 2, 13.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de Concreto. Skokie, Illinois, EE. UU.:Portland Cement Association.

Norma ACI. (2002). Cold weather concreting ACI 306R-88. : American Concrete Institute.

Páez, D. F., Leal, V. E., & Restrepo, M. (2009). Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (Caso Tunja). Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 95–110.

Pasquel, E. (1998). Topicos de tecnologia del concreto en el Perú. Lima, Peru: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.

Pigeon, M., & Pleau, R. (1995). Durability of concrete in clod climates. : E & FN Spon.

Rivera, G. A. (2013). Concreto Simple. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.



Rivva, E. (2020). Ataques al Concreto por Congelación. Recuperado De. <http://dev2.construccion.org/biblioteca/articulo/ataques-concreto-por-congelacion-1123>

RNE E. 060, C. A. (2019). Concreto Armado. In Reglamento nacional de edificaciones (pp. 420–491). Lima, Peru: Megabyte.

Rodriguez, A. R. (2009). Concreto en climas frios, con uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru.

Señas, L., Ortega, N., Priano, C., & Cabo, G. (2006). Durabilidad de hormigones con fibras de polipropileno frente a la corrosión de las armaduras. Ciencia e Ingeniería, 28(1), 41–47.

Sika. (2014). Concreto reforzado con fibras. Recuperado De. https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto-Reforzado-con-Fibras_Brochure.pdf

Solis, R. G., Moreno, E. I., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. Revista ALCONPAT, 7(1), 21–29.

Valero, J. F. (2015). Influencia de las fibras de poliprópileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014. (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Peru. Huancayo, Peru.

Zongjin, L. (2011). Advanced concrete technology. New Jersey: John Wiley & Sons.



ANEXOS



Anexo 01

Matriz de consistencia



Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Método y Técnicas
Problema General: ¿De qué manera influye de la adición del aditivo superplastificante y nanosílice en las propiedades mecánicas del concreto a ciclos de hielo y deshielo en el distrito de San Miguel?	Objetivo General: Determinar la influencia de la adición del aditivo superplastificante y nanosílice en las propiedades mecánicas del concreto a ciclos de hielo y deshielo en el distrito de San Miguel.	Hipótesis General: La adición del aditivo superplastificante y nanosílice mejorará significativamente la resistencia del concreto a los ciclos de hielo y deshielo.	Variable Independiente Aditivo superplastificante y nanosílice	Dosificación	(0%, 1.5%AS y 1.5%AN).	Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel y tipo de investigación: Según el estudio de la investigación es de nivel explicativo de tipo aplicativo Diseño de la investigación: Experimental
Problemas Específicos: ¿Cómo influye en la trabajabilidad del concreto adicionando aditivo superplastificante y nanosílice en diferentes dosificaciones? ¿Cuál es la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo superplastificante sometido a ciclos de hielo y deshielo? ¿Cuál es la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo nanosílice sometido a ciclos de hielo y deshielo?	Objetivos Específicos: Evaluar la trabajabilidad del concreto adicionando aditivo superplastificante y nanosílice en diferentes dosificaciones. Determinar la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo superplastificante sometido a ciclos de hielo y deshielo. Determinar la resistencia a compresión del concreto adicionando aditivo nanosílice sometido a ciclos de hielo y deshielo.	Hipótesis Específicos: La adición del aditivo superplastificante y nanosílice, , hacen que el concreto recién mezclado sea más fluido. El aditivo superplastificante, al mejorar la trabajabilidad, incrementará la resistencia a compresión del concreto sometido a ciclos hielo y deshielo en comparación con un concreto sin aditivo. La adición del aditivo nanosílice incrementa la resistencia a compresión del concreto sometido a ciclos de hielo y deshielo en comparación con un concreto sin aditivo.	Variable Dependiente Propiedades mecánicas del concreto	Resistencia a la compresión (fc'=210kg/cm)	Resistencia a 7, 14 y 28 días	Población: La población de muestra es tres: el concreto convencional y el concreto con adición del aditivo superplastificante y nanosílice. Muestra: se elaboraron un total de 27 testigos de concreto



Anexo 02

Ensayos de laboratorio



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

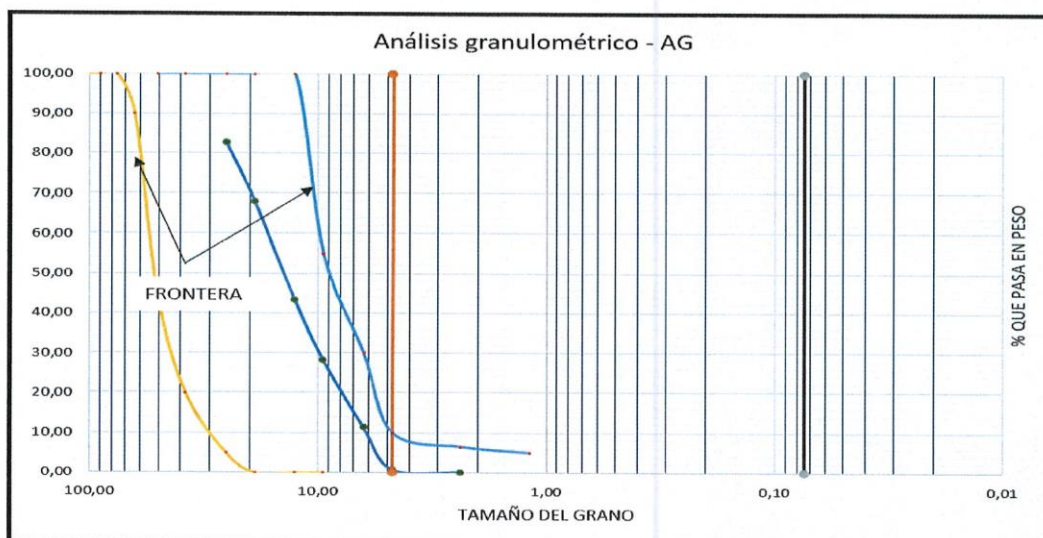
CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GRUESO

(ASTM C136 NTP 400.012)

TAMIZ	Abertura mm	Pesos Retenidos (gr)	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ESPECIF.	
						Lim. Inf.	Lím. Sup.
2"	50,60	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,40	1730,00	17,33	17,33	82,67	100	100
3/4"	19,05	1470,00	14,73	32,06	67,94	100	100
1/2"	12,70	2450,00	24,55	56,61	43,39	100	100
3/8"	9,53	1525,00	15,28	71,89	28,11	90	100
1/4"	6,35	1675,00	16,78	88,68	11,32	45	100
# 4	4,76	1060,00	10,62	99,30	0,70	20	55
# 8	2,38	70,00	0,70	100,00	0,00	5	30
P. Total=		9980,00	100,00				
				MF			
				7,21			



Observaciones:



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

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yura Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

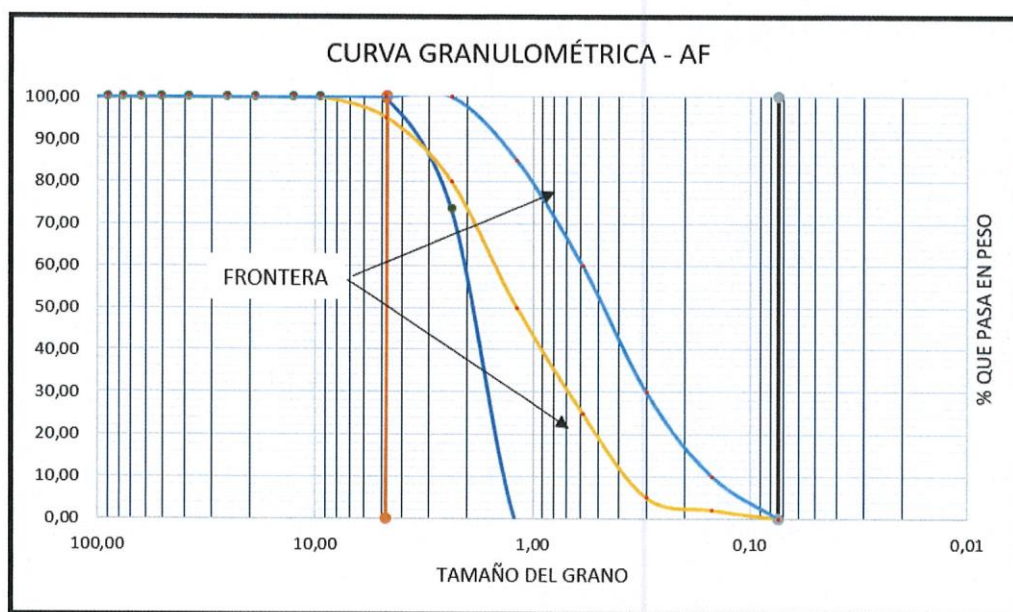
CANERA : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO FINO

(ASTM C136 NTP 400.012)

Malla pulg Ø	Abertura mm	Pesos Retenidos g	% Parciales Retenidos	% Acumulados Retenidos	% Acum. que pasan	ESPECIF.	
						Lim. Inf.	Lím. Sup.
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
# 4	4,76	1,50	0,50	0,50	99,50	95	100
# 8	2,38	359,30	25,91	26,41	73,59	80	100
# 16	1,19	349,40	75,00	101,41	-1,41	50	85
# 30	0,59	288,30	20,79	122,19	-22,19	25	60
# 50	0,30	250,00	18,03	140,22	-40,22	5	30
# 100	0,15	89,20	6,43	146,65	-46,65	2	10
#200	0,07	39,50	2,85	149,50	-49,50	0	0
>N°200	0,01	9,70	0,70	150,20	-50,20		
P. Total=		1386,90	100,00				
				MF			
				5,37			



Observaciones:



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

Kevin Quiroz Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD

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

HUMEDAD AGREGADO FINO				
		Numero de ensayos		
		B-1	B-3	B-4
Peso de la capsula	gr.	28,6	27,03	28,56
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	349,12	328,47	340,12
Peso capsula + muestra seca	gr.	338,16	318,45	329,31
Peso del agua	gr.	10,96	10,02	10,81
Peso de la muestra seca	gr.	309,56	291,42	300,75
Contenido de humedad parcial	%	3,54	3,44	3,59
Promedio	%	3,52		

HUMEDAD AGREGADO GRUESO				
		Numero de ensayos		
		V-1	M-01	M-05
Peso de la capsula	gr.	80,11	81,23	34,02
Peso capsula + muestra húmeda	gr.	850,01	765,03	811,01
Peso capsula + muestra seca	gr.	827,01	741,36	791,23
Peso del agua	gr.	23	23,67	19,78
Peso de la muestra seca	gr.	746,9	660,13	757,21
Contenido de humedad parcial	%	3,08	3,59	2,61
Promedio	%	3,09		

Observaciones:



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

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANERA : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

(ASTM C127 - ASTM C128 - NTP 400.037)

AGREGADO FINO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	500,00
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	803,00
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1009,93
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	602,35
5	Peso de la tara	gr.	112,36
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	489,99
Resultados			
1	Peso específico aparente $(6/(2+1-3))$	gr/cm3	1,67
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2,04

AGREGADO GRUESO

N°	Descripción	und.	Cantidad
1	Peso de la muestra secada al horno	gr.	587,69
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	600,01
3	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	1503,61
4	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satur. super. Seca	gr.	1869
5	Peso de la tara	gr.	115,11
6	Peso de la muestra secada al horno + peso de la tara	gr.	702,8
Resultados			
1	Peso específico aparente $(6/(2+1-3))$	gr/cm3	2,50
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2,10

Observaciones:



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

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

PESO UNITARIO				
(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)				

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	18509	19050	19040
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	8499	9040	9030
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,53	1,63	1,62
Promedio	g/cm3		1,59	

PESO UNITARIO VARILLADO AGREGADO FINO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	20050	20010	20025
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	10040	10000	10015
Volumen del molde	cm3	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm3	1,81	1,80	1,80
Promedio	g/cm3		1,80	

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/ 20613137921
Kevin Quispacá Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

PESO UNITARIO

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO

Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	18440	18380	18420
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	8430	8370	8410
Volumen del molde	cm ³	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm ³	1,52	1,51	1,51
Promedio	g/cm ³		1,51	

PESO UNITARIO VARILLADO AGREGADO GRUESO

Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	19320	19325	19330
Peso del molde	g	10010	10010	10010
Peso del material	g	9310	9315	9320
Volumen del molde	cm ³	5559,84	5559,84	5559,84
Peso unitario	g/cm ³	1,67	1,68	1,68
Promedio	g/cm ³		1,68	

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/ 20613137921Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTAJulio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL SOMETIDOS A CONGELAMIENTO

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M - 1	15423.00	15.03	177.42	86.93	210	1/10/2024	8/10/2024	7	41.39%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.10 x 30.0 cm M - 2	14789.00	15.10	179.08	82.58	210	1/10/2024	8/10/2024	7	39.33%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.00 x 30.0 cm M - 3	15420.00	15.00	176.71	87.26	210	1/10/2024	8/10/2024	7	41.55%
PROMEDIO										40.76%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.10 x 30.0 cm M - 1	20364.00	15.10	179.08	113.71	210	1/10/2024	15/10/2024	14	54.15%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M - 2	19458.00	15.02	177.19	109.81	210	1/10/2024	15/10/2024	14	52.29%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm M - 3	20230.00	15.04	177.66	113.87	210	1/10/2024	15/10/2024	14	54.22%
PROMEDIO										53.56%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.08 x 30.0 cm M - 1	25480.00	15.08	178.6	142.67	210	1/10/2024	29/10/2024	28	67.94%
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm M - 2	26410.00	15.02	177.19	149.05	210	1/10/2024	29/10/2024	28	70.98%
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm M - 3	26789.00	15.03	177.42	150.99	210	1/10/2024	29/10/2024	28	71.90%
PROMEDIO										70.27%

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/ 20613137921Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA
Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059

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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL CON 1.5% DE ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DÍAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 14.92 x 30.0 cm	22593.00	14.92	174.83	129.23	210	1/10/2024	8/10/2024	7	61.54%
	M1 + Aditivo superplastificante									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 14.98 x 30.0 cm	22345.00	14.98	176.24	126.79	210	1/10/2024	8/10/2024	7	60.37%
	M2 + Aditivo superplastificante									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.01 x 30.0 cm	21105.00	15.01	176.95	119.27	210	1/10/2024	8/10/2024	7	56.80%
	M3 + Aditivo superplastificante									
								PROMEDIO		59.57%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DÍAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.08 x 30.0 cm	27963.00	15.08	178.6	156.57	210	1/10/2024	15/10/2024	14	74.56%
	M1 + Aditivo superplastificante									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.00 x 30.0 cm	28964.00	15.00	176.71	163.91	210	1/10/2024	15/10/2024	14	78.05%
	M2 + Aditivo superplastificante									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.03 x 30.0 cm	28741.00	15.03	177.42	161.99	210	1/10/2024	15/10/2024	14	77.14%
	M3 + Aditivo superplastificante									
									PROMEDIO	76.58%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.00 x 30.0 cm	37641.00	15.00	176.71	213.01	210	1/10/2024	29/10/2024	28	101.43%
	M1 + Aditivo superplastificante									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 14.70 x 30.0 cm	36425.00	14.70	169.72	214.62	210	1/10/2024	29/10/2024	28	102.20%
	M2 + Aditivo superplastificante									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.06 x 30.0 cm	37987.00	15.06	178.13	213.25	210	1/10/2024	29/10/2024	28	101.55%
	M3 + Aditivo superplastificante									
									PROMEDIO	101.73%

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/ 20613137921
Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA*Julio Ronaldo Yucra Quispe*
Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



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

PROYECTO : INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

SOLICITANTE : Bach. NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : OCTUBRE DEL 2024

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL CON CON 1.5% DE ADITIVO NANOSILICE

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.10 x 30.0 cm	28793.00	15.10	179.08	160.78	210	1/10/2024	8/10/2024	7	76.56%
	M1 + Aditivo nanosilice									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.02 x 30.0 cm	27631.00	15.02	177.19	155.94	210	1/10/2024	8/10/2024	7	74.26%
	M2 + Aditivo nanosilice									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.00 x 30.0 cm	27984.00	15.00	176.71	158.36	210	1/10/2024	8/10/2024	7	75.41%
	M3 + Aditivo nanosilice									
								PROMEDIO		75.41%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DÍAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 14.80 x 30.0 cm	31321.00	14.80	172.03	182.07	210	1/10/2024	15/10/2024	14	86.70%
	M1 + Aditivo nanosilíce									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm	31970.00	15.04	177.66	179.95	210	1/10/2024	15/10/2024	14	85.69%
	M2 + Aditivo nanosilíce									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 14.90 x 30.0 cm	32156.00	14.90	174.37	184.41	210	1/10/2024	15/10/2024	14	87.82%
	M3 + Aditivo nanosilíce									
								PROMEDIO		86.73%

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DÍAS	
1	BRIQUETA DE PRUEBA 15.04 x 30.0 cm	42150.00	15.04	177.66	237.25	210	1/10/2024	29/10/2024	28	112.98%
	M1 + Aditivo nanosilíce									
2	BRIQUETA DE PRUEBA 15.01 x 30.0 cm	42631.00	15.01	176.95	240.92	210	1/10/2024	29/10/2024	28	114.72%
	M2 + Aditivo nanosilíce									
3	BRIQUETA DE PRUEBA 15.20 x 30.0 cm	43780.00	15.20	181.46	241.27	210	1/10/2024	29/10/2024	28	114.89%
	M3 + Aditivo nanosilíce									
								PROMEDIO	114.20%	

Observaciones:



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

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 30 - 11 - 2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos:	NAY ORIEL PARRILLA RAMIREZ		
Dirección:	JR. BALBOA # 2215		
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	41915951		
Teléfono:	931846190		
email:	josparra28@gmail.com		
Nombres y Apellidos:			
Dirección:			
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:			
Teléfono:			
email:			
Facultad y/o Escuela de Posgrado:			
Escuela Profesional o Mención:			
Título o Grado Académico a optar:			
Asesor:	M Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA		
Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:			
Trabajo de Investigación ☐	Tesis ☒	Trabajo de Suficiencia Profesional ☐	Trabajo Académico ☐
Título:	INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO A CICLOS DE HIELO Y DESHIELO EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL		
Palabras claves, (3 a 5 términos):	Concreto, aditivo superplastificante, nanosilice, resistente a congelamiento.		
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1, 2} ?	1		

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

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

2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

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

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

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

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

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

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

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: **TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17**

Firma de Autor



huella digital

30 DE NOVIEMBRE DEL 2025

Fecha