



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN  
DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS  
PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO  
EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN  
DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS  
PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO  
EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

**Bach. PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN**

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Mgr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:

Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17



**"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1592-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 02 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024- 17155 presentado por el (la) Bachiller: **PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN** 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. **PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**, 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. MILTHON QUISPE HUANCA
- \* **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- \* **2do Miembro** : Mgr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

**ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER** como asesor de la propuesta de investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, Dr. **EFRAIN PARILO SOSA.**

**ARTICULO TERCERO . - APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : Jueves 05 de diciembre del 2024
- \* **HORA** : 10:00 a.m.
- \* **LUGAR** : Aula 406 - 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 PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CUI. 47790

cc. Archivo interesado (0)



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

Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 859-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 22 de agosto del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU-10503, presentado el señor (a) PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 807-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 241 -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): PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**, 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 Mgtr. 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° 241 -2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**.

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 mérito 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): PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024** 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.



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

D. MITHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Efraín Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1197-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de octubre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 011823 por el señor (a): PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 1095 - 2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS) formato N° 198 - 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): PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**, 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 Mgtr. 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° 198 - 2024 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024**, 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 merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024** 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 CIENCIAS PURAS  
  
Dr. TRON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN  
  
Dr. Efrain Parillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



## INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BARIOS EN LAS DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024

### INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to University of Zululand Trabajo del estudiante	6%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	5%
3	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	4%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (PLA) basadas en la incorporación de derivados de	<1%



Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Percy Josimar Ramos Marin
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	44796492
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0002-3547-9595">https://orcid.org/0009-0002-3547-9595</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Efrain Parillo Sosa
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-7567-039X">https://orcid.org/0000-0001-7567-039X</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Milthon Quispe Huanca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Arnaldo Yana Torres
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Fritz Willy Mamani Apaza
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02306659
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de la Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú          Departamento: Puno          Provincia: San Román          Distrito: Juliaca          Latitud: S 15° 29' 27"          Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/KdbsqZ8sASNwnr96">https://maps.app.goo.gl/KdbsqZ8sASNwnr96</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Agosto 2024 – Diciembre 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	<p><b>Ingeniería Civil</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a></p> <p><b>Ingeniería de Materiales</b>  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00</a></p>

INVESTIGACIÓN Y VICE-RECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS EXACTAS

*Dr. Efraín Batillo Caza*  
 DIRECTOR  
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN, identificado con DNI Nro. 44796492, 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:

INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES

DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

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 24 de diciembre del 2024

  
Firma del Asesor  
(obligatoria)

  
Firma del Estudiante  
(obligatoria)

  
Huella



## DEDICATORIA

A hermanos, amigos y principalmente a mis queridos padres.



## AGRADECIMIENTO

A nuestro padre todo poderoso que siempre guía  
nuestros caminos.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA .....	I
AGRADECIMIENTO .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII

## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.2.1 Problema general .....	3
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Justificación de la investigación .....	4
1.4.1 Justificación técnica.....	4
1.4.2 Justificación económica.....	4
1.4.3 Justificación social .....	5
1.4.4 Justificación ambiental.....	5
1.5 Hipótesis de la investigación .....	6
1.5.1 Hipótesis general .....	6
1.5.2 Hipótesis específicas .....	6
1.6 Variables e indicadores.....	6
1.6.1 Variable independiente .....	6
1.6.2 Variable dependiente.....	6
1.7 Identificación y tratamiento de las variables de análisis.....	7



CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación ..... 8
2.1.1 Antecedentes internacionales..... 8
2.1.2 Antecedente nacional ..... 9
2.1.3 Antecedente de ámbito local. .... 11
2.2 Bases teóricas ..... 12
2.2.1 Concreto hidráulico..... 12
2.2.1.1 Mezcla y constitución del concreto hidráulico..... 14
2.2.1.2 Rendimiento estructural del concreto hidráulico..... 16
2.2.1.3 Longevidad del concreto hidráulico en diversas aplicaciones..... 17
2.2.2 Modificadores químicos en el concreto ..... 18
2.2.2.1 Categorías de sustancias aditivas en el concreto ..... 21
2.2.2.2 Impacto de los aditivos en las características del concreto ..... 22
2.2.3 Uso de microsílíce y nanosílíce como complementos en concreto ..... 24
2.2.3.1 Concepto de microsílíce y nanosílíce en materiales de construcción..... 26
2.2.3.2 Influencia de la microsílíce en la resistencia y durabilidad del concreto..... 28
2.2.3.3 Resultados de incorporar nanosílíce en mezclas de concreto ..... 31
2.2.3.4 Similitudes y contrastes entre microsílíce y nanosílíce..... 34
2.2.4 Propiedades mejoradas con microsílíce y nanosílíce ..... 38
2.2.4.1 Cómo los aditivos mejoran la resistencia compresiva del concreto ..... 42
2.2.4.2 Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto ..... 44
2.2.4.3 Protección química del concreto mediante aditivos avanzados ..... 47
2.2.5 Microsílíce y nanosílíce en obras de ingeniería crítica ..... 51
2.2.5.1 Aditivos avanzados en construcciones resistentes ..... 55
2.2.5.2 Beneficios económicos del uso de aditivos en el concreto..... 59
2.3 Marco conceptual..... 62
2.3.1. Aditivos ..... 62
2.3.2. Micro sílice..... 63
2.3.3. Nano sílice..... 63
2.3.4. Curado..... 64
2.3.5. Concreto hidráulico..... 64



2.3.6. Diseño de mezclas ..... 65

2.3.7. Resistencia a la compresión ..... 65

**CAPÍTULO III**

**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1 Diseño de la investigación..... 66

3.2 Método de la investigación..... 67

3.3 Nivel y tipo de la investigación ..... 67

    3.3.1 Nivel de la investigación .....67

    3.3.2 Tipo de la investigación .....68

3.4 Población y muestra de la investigación..... 69

    3.4.1 Población.....69

    3.4.2 Muestra.....70

3.5 Técnicas e instrumentos ..... 71

    3.5.1 Técnicas .....71

    3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación .....72

3.6 Validación y confiabilidad del instrumento ..... 73

    3.6.1 Validación de los instrumentos .....73

    3.6.2 Confiabilidad de instrumentos .....74

3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos ..... 75

    3.7.1 Procedimiento del desarrollo de plan de investigación.....75

    3.7.2 Etapa de campo.....78

    3.7.3 Etapa de laboratorio. ....80

    3.7.4 Etapa de gabinete.....85

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Conclusiones obtenidas a partir de los ensayos..... 87

    4.1.1 Análisis del comportamiento del asentamiento en los testigos .....92

    4.1.2 Evaluación de la resistencia compresiva en los especímenes ensayados .....95

    4.1.3 Resistencia a la flexión en especímenes con aditivos avanzados ..... 113

4.2 Discusión de resultados ..... 131

**CONCLUSIONES ..... 134**



<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>135</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>136</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>138</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** *Identificación y tratamiento de las variables de análisis* .....7

**Tabla 2** *Evaluación comparativa de los factores principales* .....37

**Tabla 2** *Total de muestras utilizadas en pruebas de compresión* .....71

**Tabla 4** *Resultados del análisis de humedad en los especímenes* .....88

**Tabla 5** *Resultados de análisis de densidad y absorción en las muestras* .....88

**Tabla 6** *Peso individual de las muestras evaluadas* .....89

**Tabla 7** *Proporciones de materiales en la dosificación de concreto*.....91

**Tabla 8** *Registro de Prototipos convencionales utilizadas en ensayos* .....93

**Tabla 9** *Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*.....95

**Tabla 10** *Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....96

**Tabla 11** *Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....97

**Tabla 12** *Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....98

**Tabla 13** *Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....99

**Tabla 14** *Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*.....101

**Tabla 15** *Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....102

**Tabla 16** *Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....103

**Tabla 17** *Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....104

**Tabla 18** *Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....105

**Tabla 19** *Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*.....106

**Tabla 20** *Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....107

**Tabla 21** *Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*.....108

**Tabla 22** *Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....109

**Tabla 23** *Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia* .....110

**Tabla 24** *Unidades contrastadas* .....112

**Tabla 25** *Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión* .....114

**Tabla 26** *Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión* .....115

**Tabla 27** *Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión* .....116

**Tabla 28** *Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión* .....117

**Tabla 29** *Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión* .....118



<b>Tabla 30</b>	<i>Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	119
<b>Tabla 31</b>	<i>Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	120
<b>Tabla 32</b>	<i>Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	121
<b>Tabla 33</b>	<i>Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	122
<b>Tabla 34</b>	<i>Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	123
<b>Tabla 35</b>	<i>Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	124
<b>Tabla 36</b>	<i>Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	125
<b>Tabla 37</b>	<i>Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	126
<b>Tabla 38</b>	<i>Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	127
<b>Tabla 39</b>	<i>Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión</i>	128
<b>Tabla 40</b>	<i>Unidades contrastadas</i>	129



## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** *Visualización de conceptos de micro y macro sílice* .....42

**Figura 2** *Representación cartográfica de la provincia* .....69

**Figura 2** *Micro sílice y nano sílice* .....77

**Figura 4** *Evaluación granulométrica de partículas gruesas* .....90

**Figura 5** *Representación granulométrica del material fino*.....90

**Figura 6** *Relación de proporciones en los materiales de concreto.* .....92

**Figura 7** *Análisis visual de asentamientos logrados* .....94

**Figura 8** *Representación gráfica del comportamiento del concreto base* .....96

**Figura 9** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*  
.....97

**Figura 10** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5%*  
.....98

**Figura 11** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3%*  
.....99

**Figura 12** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5%*  
.....100

**Figura 13** *Representación gráfica del comportamiento del concreto base* .....101

**Figura 14** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*  
.....102

**Figura 15** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5%*  
.....103

**Figura 16** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3%*  
.....104

**Figura 17** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5%*  
.....106

**Figura 18** *Representación gráfica del comportamiento del concreto base* .....107

**Figura 19** *Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*  
.....108



**Figura 20** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5% ..... 109

**Figura 21** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3% ..... 110

**Figura 22** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5% ..... 111

**Figura 23** Gráfica comparativa de las muestras a través de su proceso de curación..... 113

**Figura 24** Representación gráfica del comportamiento del concreto base ..... 115

**Figura 25** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice..... 116

**Figura 26** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice..... 117

**Figura 27** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice ..... 118

**Figura 28** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice ..... 119

**Figura 29** Representación gráfica del comportamiento del concreto base ..... 120

**Figura 30** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice..... 121

**Figura 31** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice..... 122

**Figura 32** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice ..... 123

**Figura 33** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice ..... 124

**Figura 34** Representación gráfica del comportamiento del concreto base ..... 125

**Figura 35** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice..... 126

**Figura 36** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice..... 127

**Figura 37** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice ..... 128

**Figura 38** Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice ..... 129

**Figura 39** Gráfica comparativa de las muestras a través de su proceso de curación..... 130



## RESUMEN

La investigación titulada "Efecto de la Incorporación de Aditivos a Base de Micro y Nano Dispersiones de Sílice sobre las Propiedades Mecánicas del Concreto Hidráulico en la Provincia de San Román, 2024" tuvo como objetivo evaluar la influencia de estos aditivos en parámetros críticos como trabajabilidad, resistencia a la compresión, y resistencia a la flexión del hormigón con  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Se realizaron pruebas de asentamiento y pruebas mecánicas a intervalos de 7, 14 y 28 días durante el curado, utilizando diversas cantidades de microsílíce (MS) y nanosílíce (NS). Los resultados indicaron que la incorporación de estas adiciones disminuye la fluidez de la mezcla fresca, observándose un efecto más pronunciado con 5% de nanosílíce, que exhibió el menor asentamiento entre las mezclas. En cuanto a la resistencia a la compresión, la formulación que incluía un 5% de nanosílíce alcanzó valores superiores a 231 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días, superando notablemente los resultados de la mezcla de control. Las mezclas que incluían nanosílíce mostraron mejoras significativas en la resistencia a la flexión, alcanzando un máximo de 30,08 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días de curado. En conclusión, la inclusión de nanosílíce, particularmente a una concentración del 5%, mejora notablemente las características mecánicas del concreto, constituyéndose como una alternativa viable para mejorar el desempeño de estructuras sometidas a esfuerzos de compresión y flexión.

**Palabras Clave:** Evaluación, Compresión, Nano sílice, Micro sílice.



## ABSTRACT

The research titled "Effect of the Incorporation of Additives Based on Micro and Nano Silica Dispersions on the Mechanical Properties of Hydraulic Concrete in the Province of San Román, 2024" aimed to evaluate the influence of these additives on critical parameters including workability, compressive strength, and flexural strength of concrete with  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Slump tests and mechanical testing were conducted at 7, 14, and 28-day intervals during curing, utilizing various amounts of micro silica (MS) and nano silica (NS). The results indicated that the incorporation of these additions diminishes the fluidity of the fresh mixture, with a more pronounced effect observed at 5% nano silica, which exhibited the lowest settlement among the mixtures. Concerning compressive strength, the formulation including 5% nano silica achieved values exceeding 231 kg/cm<sup>2</sup> after 28 days, markedly surpassing the outcomes of the control mixture. The mixes including nano silica exhibited significant enhancements in flexural strength, achieving a peak of 30.08 kg/cm<sup>2</sup> after 28 days of curing. In conclusion, the inclusion of nano silica, particularly at a concentration of 5%, markedly enhances the mechanical characteristics of concrete, establishing it as a viable alternative to improve the performance of structures subjected to compressive and bending stresses.

Keywords: Evaluation, Compression, Nano silica, Micro silica.



## INTRODUCCIÓN

La creciente necesidad de desarrollar infraestructura duradera y sostenible en la construcción civil ha generado un interés significativo en el uso de materiales innovadores y aditivos que mejoren las características del concreto. Entre estos aditivos, las dispersiones de micro y nanosílice han adquirido una importancia notable debido a su capacidad para modificar la estructura interna del concreto, incrementando su resistencia, durabilidad y propiedades de impermeabilidad. Estos avances resultan esenciales para optimizar el desempeño de las estructuras en áreas como la provincia de San Román, donde las condiciones locales requieren materiales de alto rendimiento.

El concreto hidráulico, comúnmente empleado en la construcción de carreteras, puentes y otras edificaciones, depende en gran medida de la calidad de sus componentes y de los aditivos que se incorporen durante su producción. En este contexto, la inclusión de dispersiones de micro y nanosílice al concreto se presenta como una opción innovadora para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, tales como la resistencia a la compresión y la durabilidad, así como para reducir su permeabilidad. Estas mejoras juegan un rol fundamental en la extensión de la vida útil y la seguridad de las estructuras, particularmente en zonas con exigentes condiciones climáticas y de uso, como San Román.

Este estudio se enfoca en examinar el impacto que tiene la incorporación de dispersiones de micro y nanosílice en las propiedades del concreto hidráulico. A través de este análisis, se pretende evaluar cómo estos aditivos influyen en las características clave del concreto y su potencial de uso en proyectos de infraestructura en la región.

El contenido de esta tesis está organizado en cuatro capítulos que abordan diferentes aspectos del estudio:

**Capítulo 1:** Marco teórico. Se desarrollan los conceptos clave relacionados con el concreto hidráulico y los efectos de los aditivos de micro y nanosílice sobre sus



propiedades mecánicas y de durabilidad. Asimismo, se ofrece una revisión de los estudios más relevantes en este ámbito y los avances recientes en el uso de estos materiales.

**Capítulo 2:** Metodología. Este apartado describe el enfoque experimental empleado, incluyendo los ensayos para medir las propiedades del concreto, como la resistencia a la compresión, permeabilidad y durabilidad. Además, se especifican los materiales utilizados, las proporciones de aditivos y los procedimientos de mezcla y curado.

**Capítulo 3:** Resultados y discusión. Se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados, destacando los cambios en las propiedades del concreto tras la adición de micro y nanosílice. También se comparan estos resultados con normativas vigentes y se discuten las implicaciones prácticas y económicas.

**Capítulo 4:** Conclusiones y recomendaciones. En este último capítulo se resumen los hallazgos más relevantes del estudio, se identifican las principales ventajas y limitaciones del uso de micro y nanosílice en el concreto, y se proponen recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones en proyectos de construcción en la provincia de San Román.

El presente trabajo busca ofrecer una visión integral del impacto de los aditivos basados en micro y nanosílice sobre el concreto hidráulico, aportando al desarrollo de soluciones innovadoras y efectivas para la mejora de la infraestructura en la región.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Análisis de la situación problemática

El uso de aditivos en la mejora de las propiedades del concreto ha cobrado relevancia a nivel mundial, particularmente en el contexto de la infraestructura civil, donde se busca mayor durabilidad, resistencia y sostenibilidad. Sin embargo, en diversas regiones del mundo, aún persisten desafíos relacionados con la eficiencia de estos aditivos en condiciones ambientales específicas. A continuación, se realiza un análisis de la situación problemática desde los niveles internacional, nacional y local.

A nivel global, los avances en la investigación de aditivos como la micro y nanosílice han demostrado ser altamente efectivos para mejorar las propiedades del concreto, particularmente en cuanto a la resistencia a la compresión, la durabilidad y la permeabilidad del concreto. Según Mehta y Monteiro (2017), la inclusión de estos aditivos puede extender la vida útil del concreto, reduciendo el costo de mantenimiento y reparación de estructuras. Países como Estados Unidos y Alemania han impulsado el desarrollo de estas tecnologías, aplicándolas en grandes proyectos de infraestructura. Sin embargo, uno de los principales desafíos a nivel internacional es la falta de estandarización en las metodologías de aplicación y la variabilidad de los resultados en función del tipo de obra y las condiciones climáticas específicas (Gambhir, 2020). Esta situación genera la necesidad de adaptar las soluciones globales a los contextos locales,



asegurando la eficiencia de estos aditivos en diversas condiciones ambientales y geográficas.

En el Perú, la infraestructura vial y urbana enfrenta serios problemas relacionados con la durabilidad y calidad de los materiales de construcción. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2021), cerca del 40% de las carreteras en zonas rurales y urbanas del país se encuentran en mal estado, lo que implica altos costos de mantenimiento y frecuentes reparaciones. La utilización de Modificadores químicos en el concreto, como la micro y nanosílice, ha sido escasamente explorada en proyectos a gran escala, a pesar de los estudios que demuestran su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto en condiciones ambientales exigentes (Huamaní & Ramírez, 2020). La falta de investigación aplicada y la implementación limitada de estas tecnologías en proyectos de infraestructura nacional contribuyen al deterioro acelerado de carreteras y estructuras públicas, principalmente en regiones con alta exposición a cambios climáticos, como las zonas andinas y costeras.

En la provincia de San Román, región Puno, la situación se agrava debido a las condiciones climáticas extremas, como las bajas temperaturas y las intensas lluvias estacionales, que aceleran el deterioro de las estructuras de concreto. Según el Gobierno Regional de Puno (2022), más del 50% de las vías rurales presentan daños significativos, principalmente debido a la baja resistencia del concreto frente a las variaciones climáticas y la falta de mantenimiento. A nivel local, la tecnología basada en micro y nanosílice para mejorar el concreto no ha sido implementada, a pesar de que estudios preliminares en otras regiones del Perú sugieren que su uso podría mejorar significativamente la resistencia a la compresión y la durabilidad en condiciones ambientales extremas (Mamani et al., 2023). Esta situación evidencia la necesidad urgente de investigar y aplicar tecnologías modernas en la construcción local para mejorar la calidad y durabilidad de las infraestructuras, reduciendo los costos de mantenimiento y asegurando la sostenibilidad de las mismas en el largo plazo.



## 1.2 Planteamiento del problema

### 1.2.1 *Problema general*

¿Cuál es la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román 2024?

### 1.2.2 *Problemas específicos*

1. ¿Cuál es el efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?
2. ¿Cuál es la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?
3. ¿Cuál es la influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?

## 1.3 Objetivos de la investigación

### 1.3.1 *Objetivo general*

Estudiar el impacto de la incorporación de aditivos con micro y nanosílice en las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román durante el año 2024.

### 1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Determinar el efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.



2. Determinar la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.
3. Determinar la influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.

## 1.4 Justificación de la investigación

### 1.4.1 Justificación técnica

Desde una perspectiva técnica, el uso de aditivos como la micro y nanosílice en el concreto hidráulico ofrece una mejora significativa en sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Estos aditivos tienen la capacidad de mejorar la microestructura del concreto, incrementando la resistencia a la compresión, reduciendo la permeabilidad y prolongando la vida útil de las estructuras. La tecnología de micro y nanosílice permite una mayor cohesión entre las partículas del concreto, lo que resulta en un material más denso y resistente. Este enfoque técnico es crucial para enfrentar los desafíos actuales en la construcción, especialmente en infraestructuras sometidas a condiciones climáticas adversas, como las que se encuentran en la provincia de San Román. La aplicación de estas tecnologías podría mejorar la eficiencia y calidad de las obras, reduciendo las fallas estructurales y garantizando la seguridad a largo plazo.

### 1.4.2 Justificación económica

El uso de aditivos como la micro y nanosílice en la industria de la construcción representa una inversión económica inteligente a largo plazo. Si bien los costos iniciales de implementación de estas tecnologías pueden ser superiores a los métodos convencionales, los beneficios económicos a largo plazo son significativos. La mayor durabilidad y resistencia del concreto resultan en menos necesidad de mantenimiento y



reparaciones, lo que se traduce en menores costos de operación para las entidades gubernamentales y privadas. En regiones como la provincia de San Román, donde las condiciones climáticas aceleran el desgaste de las infraestructuras, esta tecnología puede evitar gastos recurrentes, optimizando los recursos financieros y garantizando una infraestructura más estable y rentable a lo largo del tiempo.

### **1.4.3 Justificación social**

En el ámbito social, la mejora de la infraestructura a través de la incorporación de aditivos avanzados como la micro y nanosílice en el concreto tiene un impacto positivo directo en la calidad de vida de la población. Un concreto más resistente y duradero implica menos interrupciones por reparaciones constantes, lo que a su vez mejora la conectividad y el acceso a servicios básicos en zonas rurales y urbanas. Además, una infraestructura vial de mayor calidad contribuye a reducir los accidentes y mejora la seguridad en las vías de tránsito. Para la provincia de San Román, esto es de suma importancia, ya que una mejora en la durabilidad de las carreteras y puentes puede facilitar el transporte de bienes y personas, promoviendo el desarrollo social y reduciendo las brechas entre áreas urbanas y rurales.

### **1.4.4 Justificación ambiental**

En términos ambientales, la utilización de aditivos como la micro y nanosílice contribuye a la sostenibilidad en la construcción al reducir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de las infraestructuras. La mayor durabilidad y resistencia del concreto significan que las estructuras tendrán una vida útil más larga, lo que reduce la necesidad de demoliciones y reconstrucciones, limitando el consumo de recursos naturales y la emisión de contaminantes. Además, al disminuir las reparaciones frecuentes, se reducen los residuos generados por estos trabajos. En un contexto como el de la provincia de San Román, donde las condiciones ambientales son exigentes, el uso de estos aditivos puede

mitigar el impacto ambiental de la construcción, contribuyendo a la creación de infraestructuras más sostenibles y ecológicamente responsables.

## 1.5 Hipótesis de la investigación

### 1.5.1 *Hipótesis general*

La incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice optimizará las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román 2024.

### 1.5.2 *Hipótesis específicas.*

1. El efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice mantendrán la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.
2. La incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice incrementarán la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.
3. La influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice mejorarán la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.

## 1.6 Variables e indicadores.

### 1.6.1 *Variable independiente*

Aditivos Basados en Dispersiones de Micro y Nanosílice

### 1.6.2 *Variable dependiente*

- Propiedades del concreto hidráulico

#### **Indicadores:**

- Consistencia
- Resistencia a la compresión

- Resistencia a la flexión

## 1.7 Identificación y tratamiento de las variables de análisis

Tabla 1

*Identificación y tratamiento de las variables de análisis*

Variable Independiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
<b>ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE</b>	Son compuestos que contienen partículas extremadamente finas de sílice, en tamaños micro y nano, que se dispersan uniformemente en la mezcla de concreto.	Propiedades del aditivo nano sílice. Propiedades del micro sílice.	Dosificación del aditivo. Métodos de aplicación del aditivo.	Fichas de control de calidad de laboratorio
Variable Dependiente	Definición	Dimensión	Indicadores	Instrumentos De Medición
<b>PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO</b>	Se refiere a las características físicas y mecánicas que definen el comportamiento y el rendimiento del concreto que se utiliza en estructuras que estarán en contacto con agua o en entornos húmedos.	Diseño de mezclas. Resistencia la compresión. Granulometría.	Consistencia. Resistencia a la compresión. Resistencia a la flexión.	Equipos y herramientas brindadas por el laboratorio de suelos.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Para, Suksiripattanapong et al., (2020) en su trabajo titulado “Efectos de la dispersión de nano-sílice en el rendimiento de compositos a base de cemento”, En este estudio, los investigadores exploraron los efectos de la incorporación de dispersiones de nanosílice en las propiedades tanto mecánicas como de durabilidad de los compuestos cementicios utilizados en el concreto hidráulico. Las dispersiones de nanosílice se seleccionaron debido a su capacidad para actuar como materiales de refuerzo en la matriz de cemento, lo que lleva a una mejora notable en la microestructura del concreto. Se demostró que la adición de estos nanomateriales produce un aumento significativo en la resistencia a la compresión del concreto, superando en hasta un 15% los resultados obtenidos en mezclas convencionales. Además, se observó una reducción considerable en la porosidad del concreto, lo que se tradujo en un incremento en su densidad y, por lo tanto, en su durabilidad general. Este concreto tratado con nanosílice también mostró una mayor resistencia a la acción de sustancias químicas agresivas como sulfatos y cloruros, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones en entornos expuestos a condiciones ambientales severas. Los autores concluyeron que la nanosílice tiene un gran



potencial como aditivo para mejorar la vida útil y el rendimiento de las estructuras de concreto hidráulico, recomendando su uso en proyectos de infraestructura crítica.

Seguidamente, Al-Otaibi et al., (2019) En este trabajo se investiga "Propiedades Mecánicas y de Durabilidad del Concreto de Alta Resistencia que Contiene Agregado Grueso Reciclado con Nanopartículas" Este trabajo de investigación se centró en evaluar cómo la incorporación de partículas de microsílíce y nanosílíce afecta las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto de alta resistencia, especialmente cuando se utilizan agregados gruesos reciclados. Los autores analizaron diversas mezclas de concreto, incluyendo aquellas que contenían tanto microsílíce como nanosílíce, observando un incremento notable en la resistencia a la compresión de las muestras tratadas con estos aditivos en comparación con el concreto convencional. Las pruebas realizadas demostraron que la adición de nanosílíce en pequeñas cantidades no solo incrementó la cohesión interna de la matriz de cemento, sino que también mejoró significativamente su densificación, reduciendo la cantidad de vacíos y, por ende, su permeabilidad al agua. Estas mejoras estructurales se traducen en un aumento de hasta un 30% en la resistencia mecánica del concreto. Además, las muestras que contenían estos aditivos presentaron una mayor capacidad para resistir ciclos de congelación y descongelación, y una disminución considerable en la penetración de agentes externos, lo que mejora la durabilidad frente a condiciones ambientales extremas. Los autores concluyeron que tanto la microsílíce como la nanosílíce son aditivos clave para desarrollar concretos de alta resistencia y durabilidad, recomendando su uso en proyectos que requieran una mayor longevidad en las estructuras.

### **2.1.2 Antecedente nacional**

Para, Rojas, (2021), su investigación titulada "Estudio de las propiedades del concreto de alta resistencia  $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ , adicionando microsílíce, nanosílíce y superplastificante - Trujillo – 2021", Esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto



de las fibras de nano sílice y polipropileno sobre concretos amigables con el medio ambiente para mejorar la permeabilidad y resistencia para su uso en pavimentos sólidos y al mismo tiempo garantizar un drenaje adecuado después de la aplicación. Las muestras de concreto fueron preparadas según las especificaciones de ACI 211.3R-97 y ACI 522R-10 utilizando agregados finos de pizarra y agregados gruesos de concreto reciclado, cuyas granulometrías fueron favorables para su fabricación; Se agregó cemento Portland tipo I de Pacasmayo, fibra de polipropileno Sika Fiber Force PP 48 y partículas de nano sílice marca Ulmen. Español Se prepararon un total de 168 probetas y se dividieron en cuatro grupos según el tipo de ensayo, identificados por sus etapas: I-D (Etapa I - Preparación de Estructura Inicial), I-D-FPM (Etapa I - Diseño preliminar de fibras). macro propileno sintético, hormigón de 8 kg/m<sup>3</sup>), II-D-AN (Fase II - diseño preliminar y partículas de nano sílice, que ascienden al 1% del peso del hormigón) y II-D-AN-FPM (Fase II - se cuantifica). 100). desarrollado compuestos primarios con fibras sintéticas de macro propileno y aditivos de nano sílice). Los resultados mostraron que el valor óptimo de I-D-FPM mostró resistencia a la compresión de 17,27 MPa (176,07 kg/cm<sup>2</sup>), resistencia a la flexión de 3,92 MPa (39,93 kg/cm<sup>2</sup>, cm<sup>2</sup>) y aceleración de mm<sup>0</sup> y/s<sup>2</sup>. Después 3. para cumplir con los requisitos de uso del pavimento en sistemas estructurales e hidráulicos. Se utilizó nano sílice para mejorar la resistencia mecánica, lo que resultó en una resistencia a la tracción de 20,56 MPa (209, 59 kg/cm<sup>2</sup>), una resistencia a la flexión de 5,36 MPa (54,66 kg/cm<sup>2</sup>) del compuesto final (II-D-AN-FPM) y Permeabilidades de 28,86 mm/s para mezcla de hormigón duradero según criterios mecánicos, de permeabilidad y densidad exigidos al hormigón pervi para pavimentos ligeros.

Para, Flores, (2020) en su investigación titulada "Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia con microsíllice y nanosíllice, Lima - 2019" busca principalmente evaluar el impacto de la integración de la nanosíllice en las características mecánicas del concreto de alta resistencia. Este estudio utilizó una metodología de investigación aplicada utilizando un enfoque cuantitativo y un diseño



cuasiexperimental. La investigación presentó un diseño de mezcla de concreto de 600 kg/cm<sup>2</sup> utilizando el método ACI 211.4, enfatizando las resistencias a compresión, tracción y flexión. Esto incluyó tres concentraciones de adiciones de microsílíce al 5,0%, 10,0% y 15,0%, con nanosílíce al 0,5%, 1,5% y 3% en relación con el cemento para cada parámetro de resistencia. Se realizaron análisis de materiales, incluyendo distribución de tamaño de partículas y módulo de finura, seguidos por la fabricación de muestras para evaluar el concreto en su condición endurecida: resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión a los 7, 14 y 28 días postcurado. Los hallazgos indican que la sustitución parcial del cemento por aditivos mejora las cualidades mecánicas del hormigón final, aunque con una pequeña reducción de la trabajabilidad. Las concentraciones máximas alcanzadas dependen del aditivo y su dosis.

### **2.1.3 Antecedente de ámbito local.**

Para, Condori, (2022) su investigación titulada " Resistencia mecánica de muros de albañilería de bloques de concreto, con nanosilíce y superplastificante, Juliaca, Puno - 2022", Esta investigación buscó evaluar la influencia de la integración de nanosílíce y superplastificante en la resistencia mecánica de muros de mampostería construidos con bloques de concreto provenientes de Juliaca, Puno-2022. La investigación utilizó una técnica cuantitativa que se distingue por su énfasis pragmático, precisión explicativa y marco cuasiexperimental. La población incluyó construcciones construidas con bloques de concreto, mientras que la muestra estuvo compuesta por 210 bloques de concreto elegidos mediante procedimientos no aleatorios. El procedimiento incluyó adquisición de material, caracterización de agregados, preparación de muestras y prueba de muestras. Los resultados demostraron que la resistencia a la compresión de las unidades con dosis de D2 mejoró la resistencia en un 97,02%. La dosis de D2 aumentó la resistencia a la compresión diagonal en un 65,78%. La resistencia a la compresión de las columnas con dosis de D2 aumentó la resistencia en un 163,57 %, mientras que la resistencia al corte



con dosis de D2 mejoró en un 107,65 % en comparación con la línea base. La evaluación de GAIAnanosilica y el superplastificante SIKACem demostró que la dosis de D2 (0,85% NS + 0,85% SP) mejora la resistencia mecánica de las paredes de bloques de concreto.

Finalmente para, Cajavilca & Calderon, (2022) su investigación titulada " Influencia de la adición de microsílíce en las propiedades físicas y mecánicas para mejorar el concreto, Juliaca – Puno", La investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de la incorporación de microsílíce en las propiedades físicas y mecánicas para mejorar el concreto en la zona de Juliaca. Esta investigación empírica emplea un diseño experimental y un enfoque cuantitativo para evaluar las resistencias de diseño de 175 kg/cm<sup>2</sup>, 210 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, incluidas adiciones de microsílíce del 3%, 6%, 9%, 12% y 15%. %. Las propiedades físicas del concreto se ajustan a las normas de diseño, siendo la principal desviación en el peso unitario, el cual disminuye a medida que aumenta la cantidad de aditivos. La incorporación de microsílíce mejora las propiedades mecánicas del hormigón, dando como resultado un aumento del 6% en la resistencia a la compresión y una mejora del 3% en la resistencia a la flexión. La resistencia a la compresión aumenta de 175 kg/cm<sup>2</sup> a 188,28 kg/cm<sup>2</sup>, de 210 kg/cm<sup>2</sup> a 228,49 kg/cm<sup>2</sup> y de 280 kg/cm<sup>2</sup> a 306,58 kg/cm<sup>2</sup>; mientras tanto, la resistencia a la flexión progresa de 26,98 kg/cm<sup>2</sup> a 28,30 kg/cm<sup>2</sup>, de 32,64 kg/cm<sup>2</sup> a 33,79 kg/cm<sup>2</sup> y de 43,45 kg/cm<sup>2</sup> a 46,04 kg/cm<sup>2</sup>. La investigación concluye que una adición del 6% de microsílíce es óptima para la resistencia a la compresión, mientras que un 3% es beneficiosa para la resistencia a la flexión; En general, las propiedades físicas se deterioran con concentraciones más altas de microsílíce.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Concreto hidráulico**

El hormigón hidráulico es un material de construcción compuesto principalmente por una mezcla de cemento, agua, áridos (arena y grava) y, en ocasiones, aditivos que



modifican sus propiedades. La característica principal es el uso del agua como elemento esencial para iniciar las reacciones químicas de hidratación del cemento, dando como resultado un material robusto y duradero. Este hormigón se emplea ampliamente en diversas aplicaciones de construcción debido a su adaptabilidad, durabilidad y capacidad de adaptarse a diferentes condiciones estructurales y ambientales.(Jacinto & Yovana, 2022)

La principal ventaja del hormigón hidráulico es su capacidad para endurecerse y ganar resistencia tanto en ambientes húmedos como bajo el agua. Este fenómeno surge de las propiedades del cemento hidráulico, como el Portland, que interactúa químicamente con el agua para formar compuestos hidratados sólidos y duraderos. Una vez curado, el hormigón hidráulico alcanza una considerable resistencia a la compresión, lo que lo hace apropiado para estructuras de alta carga como puentes, carreteras, presas, edificios y canales.

La composición de la mezcla de hormigón hidráulico depende de los requisitos individuales de cada proyecto. La proporción de los componentes se ajusta para proporcionar un equilibrio entre trabajabilidad, resistencia y durabilidad. La relación agua/cemento es un factor crucial, ya que influye directamente en las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón. Un mayor volumen de agua mejora la trabajabilidad, pero puede disminuir la resistencia y aumentar la porosidad, mientras que una proporción controlada garantiza un material más denso y resistente. (Jacinto & Yovana, 2022)

Además, la adición de aditivos al hormigón hidráulico mejora o personaliza sus propiedades para satisfacer las especificaciones del proyecto. Se pueden utilizar plastificantes para mejorar la fluidez, retardadores para controlar el tiempo de fraguado o aditivos con micro y nano sílice para aumentar la resistencia y reducir la permeabilidad. Estas modificaciones hacen que el hormigón hidráulico sea notablemente adaptable a las necesidades de la construcción moderna.



El hormigón hidráulico plantea problemas de sostenibilidad relacionados con la extracción de recursos y las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) asociadas con la producción de cemento. Mejoras recientes, como el uso de materiales reciclados y la utilización de aditivos innovadores, buscan mitigar estos efectos y establecer el hormigón hidráulico como una sustancia más sostenible. (Jacinto & Yovana, 2022)

En conclusión, el hormigón hidráulico es un material imprescindible en la industria de la construcción por su resistencia, durabilidad y versatilidad. Su capacidad para endurecerse en condiciones húmedas lo hace crucial para infraestructura importante, mientras que los avances en su formulación y diseño mejoran su efectividad y reducen su impacto ambiental.

### **2.2.1.1 Mezcla y constitución del concreto hidráulico**

La composición y formulación del concreto hidráulico son aspectos críticos que afectan sus propiedades mecánicas, físicas y de durabilidad. Este material de construcción está compuesto por una mezcla minuciosamente calibrada de cemento, agua, áridos (arena y grava) y, en ocasiones, aditivos químicos. La correcta formulación de esta mezcla es crucial para asegurar que el concreto cumpla con los requisitos técnicos y estructurales del proyecto en el que se utiliza. (Jacinto & Yovana, 2022)

El cemento es el componente principal del hormigón hidráulico y sirve como agente aglutinante. Cuando se combina con agua, se inicia una reacción química denominada hidratación, que conduce a la creación de compuestos que solidifican y mejoran la durabilidad del material. El cemento Portland se utiliza principalmente por su excepcional resistencia y durabilidad; sin embargo, se pueden aplicar varios tipos de cemento dependiendo de las necesidades específicas del proyecto, como ambientes marinos o exposición a agentes químicos agresivos.

El agua es el catalizador que inicia el proceso de hidratación del cemento. La cantidad y calidad son factores esenciales en la formulación del hormigón. Una cantidad



adecuada de agua asegura una mezcla trabajable, facilita su aplicación y promueve el desarrollo de resistencia del material. El exceso de agua puede aumentar la porosidad del hormigón, reduciendo su resistencia y durabilidad, mientras que la cantidad insuficiente de agua dificulta la trabajabilidad y la compactación. (Jacinto & Yovana, 2022)

Los agregados, que comprenden del 60% al 80% del volumen total de concreto, se clasifican en categorías finas (arena) y gruesas (grava o piedra triturada). Estos componentes aumentan el volumen y la estabilidad de la mezcla al tiempo que reducen el consumo de cemento, fomentando así la rentabilidad del proyecto. La calidad, tamaño y distribución granulométrica de los agregados afectan directamente las cualidades mecánicas del concreto, como la resistencia a la compresión y la densidad.

Los aditivos químicos son componentes suplementarios que se incorporan a la mezcla para modificar sus cualidades según las necesidades específicas del proyecto. Los plastificantes mejoran la trabajabilidad del hormigón sin aumentar el contenido de agua, mientras que los retardadores controlan el tiempo de fraguado en condiciones climáticas adversas. La incorporación de aditivos avanzados, como micro y nano sílice, mejora la resistencia y reduce la permeabilidad, extendiendo así la durabilidad del hormigón en entornos adversos. (Jacinto & Yovana, 2022)

El proceso de mezclado es fundamental, ya que asegura una distribución uniforme de los componentes y una completa hidratación del cemento. Esta operación se puede realizar de forma manual o mecánica, dependiendo del tamaño del proyecto. Una mezcla eficaz reduce la formación de grumos y garantiza una consistencia uniforme en el hormigón, lo cual es esencial para un excelente rendimiento estructural.

La formulación del concreto hidráulico requiere de una combinación precisa de cemento, agua, agregados y aditivos, adaptada a las especificaciones del proyecto. Cada componente es esencial para las propiedades finales del material, y una dosificación y mezcla precisas son necesarias para garantizar la calidad, resistencia y durabilidad del concreto en cualquier aplicación estructural. (Jacinto & Yovana, 2022)



### 2.2.1.2 Rendimiento estructural del concreto hidráulico

El desempeño estructural del concreto hidráulico pertenece a su capacidad para cumplir con las demandas técnicas y funcionales de una estructura bajo diversas circunstancias climáticas y de carga. Este material, ampliamente utilizado en la construcción, se distingue por su resistencia a la compresión, durabilidad y versatilidad, lo que lo convierte en un componente indispensable para proyectos de ingeniería civil como puentes, edificios, carreteras y presas. La eficacia del hormigón hidráulico está dictada por su composición, diseño de la mezcla, metodología de producción y las condiciones ambientales a las que está sometido.

Una característica principal que delinea el desempeño estructural del concreto hidráulico es su resistencia a la compresión, que evalúa su capacidad para soportar tensiones axiales sin deformación ni falla. Esta resistencia es crucial para mantener la integridad estructural y surge a medida que el hormigón se hidrata y solidifica. Normalmente, los hormigones hidráulicos alcanzan su máxima resistencia después de 28 días de curado; sin embargo, la incorporación de aditivos modernos como micro y nano sílice puede acelerar este proceso y mejorar los resultados. (Jacinto & Yovana, 2022)

La durabilidad constituye un elemento crítico del desempeño estructural. El concreto hidráulico debe resistir la degradación causada por factores externos, incluida la humedad, las fluctuaciones de temperatura, la exposición a productos químicos corrosivos y los ciclos de congelación y descongelación. El diseño óptimo de la mezcla, que incorpora una baja relación agua/cemento y aditivos que disminuyen la permeabilidad, es crucial para mejorar la durabilidad del material y prolongar la vida útil de la estructura.

Además, las propiedades de flexión y tracción mejoran el rendimiento estructural del hormigón hidráulico. A pesar de su inferior resistencia a la tracción en relación con su resistencia a la compresión, esta característica se puede mejorar con la incorporación de refuerzos, como barras de acero, fibras sintéticas o aditivos especializados. Esto es



especialmente crucial en estructuras expuestas a cargas dinámicas o vibraciones, incluidos pavimentos y componentes prefabricados. (Jacinto & Yovana, 2022)

El desempeño de una estructura bajo estrés dinámico o sísmico es un predictor significativo de su desempeño general. En regiones sísmicamente activas, el hormigón hidráulico debe diseñarse para absorber y difundir energía, evitando colapsos estructurales catastróficos. La utilización de diseños de mezcla óptimos y refuerzos adecuados mejora la ductilidad y la resistencia a las fuerzas laterales.

En conclusión, la eficacia estructural del hormigón hidráulico depende de su capacidad para soportar cargas y condiciones adversas preservando al mismo tiempo su integridad y funcionalidad. El diseño y la fabricación deben adaptarse meticulosamente a los requisitos únicos de cada proyecto, teniendo en cuenta factores como la resistencia, la durabilidad, el comportamiento de flexión y tracción y el rendimiento bajo cargas dinámicas. Esto garantiza su eficacia como material de construcción en muchas aplicaciones. (Jacinto & Yovana, 2022)

### **2.2.1.3 Longevidad del concreto hidráulico en diversas aplicaciones**

La durabilidad del concreto hidráulico se refiere a su capacidad de preservar sus características estructurales y funcionales en el tiempo, soportando los impactos de cargas, condiciones climáticas y elementos ambientales perjudiciales. Este material se utiliza ampliamente en proyectos de infraestructura debido a su resistencia, lo que le permite cumplir su función estructural durante décadas cuando se planifica, produce y mantiene adecuadamente. (Jacinto & Yovana, 2022)

Un factor crucial en la durabilidad del hormigón hidráulico es su resistencia al deterioro ambiental. En aplicaciones sujetas a entornos hostiles, como puentes, presas y pavimentos, el hormigón hidráulico debe soportar ciclos de congelación y descongelación, humedad persistente y los efectos de productos químicos hostiles, incluidos cloruros y sulfatos. Para alargar su vida útil en estas condiciones se emplean mezclas con baja



relación agua/cemento, que disminuyen la porosidad del material y mejoran su impermeabilidad.

En construcciones marinas o expuestas a condiciones severamente corrosivas, como instalaciones industriales, la adición de aditivos sofisticados como micro y nano sílice mejora la durabilidad del concreto al disminuir la infiltración de químicos agresivos. La incorporación de cementos resistentes a los sulfatos y fibras sintéticas puede mejorar notablemente la durabilidad en condiciones difíciles, reduciendo así la probabilidad de agrietamiento y deterioro prematuro. (Jacinto & Yovana, 2022)

En aplicaciones como pavimentos y carreteras, la resistencia al desgaste y al tráfico continuo es esencial para la durabilidad del hormigón hidráulico. Los diseños de mezclas que incorporan agregados de alta calidad y productos químicos plastificantes proporcionan superficies más densas que exhiben resistencia al impacto y la abrasión, proporcionando así una mayor durabilidad en zonas de alto tráfico. (Jacinto & Yovana, 2022)

De manera similar, el mantenimiento preventivo y el monitoreo constante son cruciales para optimizar la longevidad del concreto hidráulico. Las reparaciones oportunas, el sellado de juntas y la aplicación de recubrimientos protectores reducen el deterioro causado por agentes externos, preservando las cualidades del material en el tiempo.

La durabilidad del hormigón hidráulico depende de un diseño apropiado, la utilización de componentes y aditivos de alta calidad y un mantenimiento constante. Su capacidad para soportar circunstancias difíciles y mantener su integridad estructural durante décadas lo convierte en un material esencial en aplicaciones que requieren durabilidad y rendimiento a largo plazo, incluidas infraestructura civil, edificios y proyectos industriales. (Jacinto & Yovana, 2022)

### **2.2.2 Modificadores químicos en el concreto**

Los Modificadores químicos en el concreto son sustancias químicas o minerales que se utilizan en la mezcla de cemento, agua y agregados para alterar o mejorar sus



características durante las etapas de mezclado, colocación o curado. Su utilización ha aumentado en el sector de la construcción debido a la necesidad de modificar las características del concreto para satisfacer ciertos requisitos, incluida una mayor resistencia, durabilidad, trabajabilidad, tiempo de fraguado y otros atributos vitales requeridos en diversos proyectos. Los aditivos proporcionan la modificación de las características del concreto para mejorar su desempeño de acuerdo con los requisitos del proyecto y las condiciones ambientales.

Los aditivos se pueden clasificar de varias formas según su funcionamiento. Los aditivos reductores de agua se utilizan a menudo para disminuir el contenido de agua necesario en la combinación y al mismo tiempo preservar su trabajabilidad. Una relación agua-cemento reducida a menudo mejora la resistencia y durabilidad del hormigón. Estas adiciones son esenciales para crear mezclas de alta resistencia con contenido de agua reducido, disminuyendo así la porosidad y mejorando la impermeabilidad. (Jacinto & Yovana, 2022)

Los aceleradores son sustancias que reducen el período de curado del hormigón, permitiéndole alcanzar resistencia más rápidamente. Son ventajosos en áreas gélidas o cuando se requiere una construcción rápida. Por el contrario, se utilizan retardadores para prolongar el período de fraguado, lo cual es ventajoso en circunstancias de temperatura elevada o cuando se necesita más tiempo para el transporte o colocación de la mezcla. Ambas categorías de aditivos mejoran la gestión del proceso de fraguado, personalizándolo a los requisitos particulares del proyecto.

Por el contrario, los agentes inclusores de aire son aditivos que generan diminutas burbujas de aire dentro del hormigón, mejorando su resistencia a los ciclos de congelación y descongelación. Esta mejora es particularmente beneficiosa en climas fríos donde el concreto está sujeto a temperaturas variables, lo que puede causar daños por la expansión del agua al congelarse dentro de la estructura de concreto. Las burbujas de aire brindan



espacio para la expansión del agua, lo que mitiga las fuerzas destructivas y, por lo tanto, disminuye el agrietamiento y prolonga la vida útil del concreto.

Además de los aditivos convencionales, el uso de aditivos minerales como la microsílice y la nanosílice ha aumentado significativamente en las últimas décadas, demostrando una eficacia considerable para mejorar las características mecánicas y de durabilidad del hormigón. La microsílice, o humo de sílice, es un subproducto de la fabricación de aleaciones de silicio y ferrosilicio, que incluye partículas diminutas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ). La incorporación de microsílice a la mezcla de hormigón mejora notablemente su resistencia a la compresión y su impermeabilidad al disminuir la porosidad y aumentar la densidad de la matriz de cemento. Esto mejora la resistencia del hormigón a la infiltración de sustancias nocivas como agua, cloruros y sulfatos, extendiendo así su longevidad en circunstancias adversas. (Jacinto & Yovana, 2022)

La nanosílice es una variante refinada del dióxido de silicio, caracterizada por nanopartículas que poseen una mayor superficie específica y una reactividad mejorada. La nanosílice mejora la resistencia a la compresión del hormigón y optimiza su microestructura, disminuyendo así el desarrollo de microfisuras y aumentando la cohesividad interna. La nanosílice mejora significativamente la resistencia del hormigón a los ataques químicos y disminuye la permeabilidad.

Los aditivos en el hormigón son esenciales para mejorar las capacidades del material, permitiendo modificar sus características según los requisitos del proyecto y las circunstancias ambientales. Los agentes reductores de agua, los aceleradores y los aditivos sofisticados, como la microsílice y la nanosílice, cumplen cada uno una función distinta que mejora el rendimiento y la durabilidad del hormigón en aplicaciones desafiantes. (Jacinto & Yovana, 2022)



### 2.2.2.1 Categorías de sustancias aditivas en el concreto

La categorización de los aditivos para hormigón está determinada por su papel en la alteración de las características de la mezcla. Esta categoría incluye superplastificantes, que disminuyen notablemente el contenido de agua y son cruciales para producir hormigón de alta resistencia con mejor trabajabilidad. (Lara & Sandro, 2022)

Por el contrario, los aceleradores son agentes que aceleran el proceso de curado del hormigón, permitiéndole alcanzar su resistencia original más rápidamente. Son ventajosos en proyectos que requieren un servicio rápido o en áreas frías, donde el curado puede posponerse debido a las bajas temperaturas. Por el contrario, los retardadores prolongan la duración del curado, lo cual es ventajoso en áreas cálidas o para proyectos extensos que requieren más tiempo para la colocación y manipulación de la mezcla antes del endurecimiento. Ambas categorías de aditivos proporcionan una regulación exacta de la duración del curado, según las condiciones ambientales y los requisitos del proyecto.

Los agentes inclusores de aire son aditivos que incorporan diminutas burbujas de aire a la mezcla, mejorando la durabilidad del concreto contra los ciclos de congelación y descongelación. Esta característica es fundamental en regiones frías, ya que las burbujas de aire permiten que el agua que se congela dentro del hormigón se expanda sin provocar fracturas. Esta mejora aumenta la trabajabilidad y cohesividad de la mezcla, minimizando la segregación del material durante la aplicación. (Lara & Sandro, 2022)

Una clase importante de aditivos son los inhibidores de corrosión, que se utilizan específicamente en proyectos donde el concreto interactúa con el agua o está sujeto a condiciones severas, como entornos marítimos o industriales. Estos aditivos salvaguardan las armaduras de acero del interior del hormigón, inhibiendo la corrosión inducida por cloruros u otras sustancias nocivas. Esto es esencial para extender la longevidad de la infraestructura, incluidos puentes, puertos y edificios, en ambientes corrosivos.

Los agentes impermeabilizantes se utilizan para disminuir la permeabilidad del hormigón, limitando así la penetración de agua y otros líquidos que puedan provocar una



degradación estructural. Son cruciales en la construcción de construcciones como presas, tanques de agua o cimientos subterráneos, donde la resistencia a la humedad es importante. Estas adiciones aumentan la longevidad del concreto, haciéndolo menos vulnerable a influencias perjudiciales como el agua y las sales. (Lara & Sandro, 2022)

Los aditivos expansivos reducen eficientemente la contracción del hormigón durante la fase de secado. La contracción puede provocar grietas y fracturas, lo que socava la integridad estructural. Los aditivos expansivos proporcionan una expansión regulada dentro de la mezcla, mitigando estos problemas y manteniendo la cohesión del hormigón en el tiempo. (Lara & Sandro, 2022)

En última instancia, los aditivos minerales como la microsílíce y la nanosílíce se han visto favorecidos en la industria debido a su capacidad para mejorar notablemente las cualidades del hormigón. La microsílíce, un subproducto de la fabricación de silicio, se utiliza para disminuir la porosidad del hormigón y mejorar su resistencia a la compresión, aumentando así su durabilidad en condiciones exigentes. La nanosílíce opera a escala nanométrica para aumentar la microestructura del concreto, disminuyendo las microfisuras y mejorando su densidad, aumentando así su resistencia y resistencia contra presiones externas.

### **2.2.2.2 Impacto de los aditivos en las características del concreto**

Los aditivos desempeñan una función vital al alterar las características del concreto para mejorar su desempeño para ciertas especificaciones del proyecto. El uso de estas adiciones químicas y minerales modifica varias propiedades del concreto, incluida su resistencia, trabajabilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. El tipo de aditivo utilizado podrá mejorar sustancialmente las características del concreto durante las etapas de mezclado, colocación y curado, de acuerdo con los requerimientos de cada proyecto.

Una ventaja principal de los aditivos es la mejora de la trabajabilidad del hormigón. Los aditivos reductores de agua disminuyen el contenido de agua en la mezcla



manteniendo su trabajabilidad y colocación. Esto da como resultado un hormigón que es más maleable y al mismo tiempo conserva su resistencia, ya que una proporción reducida de agua reduce la porosidad y mejora la cohesividad de la mezcla. Además, los superplastificantes, una categoría sofisticada de aditivos reductores de agua, mejoran la fluidez del concreto, lo que es particularmente ventajoso en proyectos complejos o vertidos extensos donde la colocación y compactación rápidas son esenciales. (Lara & Sandro, 2022)

Los aditivos influyen significativamente en la regulación del tiempo de fraguado. Los aceleradores y retardadores son los principales aditivos utilizados para este fin. Los aceleradores facilitan la mejora rápida de la resistencia del hormigón, algo crucial en entornos fríos o en proyectos que requieren un servicio rápido, como intervenciones de emergencia o reparaciones rápidas. Por el contrario, los retardadores prolongan el período de fraguado, lo cual es ventajoso en entornos de temperatura elevada o vertidos extensos cuando se requiere más tiempo para manipular y moldear la mezcla antes de su endurecimiento. (Lara & Sandro, 2022)

Los aditivos mejoran significativamente la durabilidad del hormigón. Los productos químicos inclusores de aire son cruciales para mejorar la durabilidad del concreto contra los ciclos de congelación y descongelación, particularmente en áreas frías. Estos compuestos generan diminutas burbujas de aire en la mezcla, lo que permite que el agua se expanda después de la congelación, disminuyendo así la probabilidad de fracturas. Los aditivos suplementarios, como los inhibidores de corrosión, protegen las armaduras de acero del interior del hormigón contra cloruros y otros agentes corrosivos, lo cual es fundamental para construcciones sometidas a condiciones marítimas o industriales.

Además, el uso de microsílíce y nanosílíce ha transformado la industria del hormigón al mejorar las cualidades mecánicas y la resistencia a sustancias corrosivas. Estas adiciones minerales mejoran la resistencia a la compresión y refinan la microestructura del concreto, lo que genera una mayor densidad y una menor

permeabilidad. Esto es especialmente crucial en proyectos que requieren durabilidad, como edificios expuestos a productos químicos corrosivos, condiciones del mar o temperaturas elevadas. (Lara & Sandro, 2022)

Los Modificadores químicos en el concreto se utilizan para alterar y mejorar sus características para satisfacer los requisitos del proyecto y las circunstancias ambientales. Los aditivos mejoran la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia mecánica y la durabilidad, facilitando la producción de concreto más eficiente y robusto, capaz de soportar diversas condiciones ambientales y de carga durante su vida útil.

### **2.2.3 Uso de microsílíce y nanosílíce como complementos en concreto**

La microsílíce y la nanosílíce son dos adiciones minerales que han ganado protagonismo en el sector de la construcción por su capacidad para mejorar significativamente las cualidades del hormigón, especialmente en cuanto a resistencia mecánica y durabilidad. Ambas son formas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), que varían en el tamaño de las partículas y en su interacción con el compuesto de hormigón. La microsílíce está formada por partículas de tamaño micrométrico, pero la nanosílíce, como lo indica su nomenclatura, tiene dimensiones a escala nanométrica, lo que le confiere una reactividad distintiva y la capacidad de alterar la microestructura del hormigón. (Lara & Sandro, 2022)

La microsílíce, o humo de sílice, es un subproducto de los sectores de fabricación de ferrosilicio y silicona. Esta sustancia está formada por pequeñas partículas que, cuando se incorporan al hormigón, ocupan los huecos entre las partículas de cemento y los áridos, disminuyendo así la porosidad de la mezcla. Este método produce hormigón con mayor densidad y resistencia a la compresión superior. Además, la microsílíce interactúa químicamente con los productos de hidratación del cemento, aumentando así la longevidad del hormigón al mejorar la resistencia de la matriz a la infiltración de agua, cloruros y otras sustancias nocivas. Esta mejora es particularmente ventajosa en escenarios donde el concreto estará sujeto a circunstancias severas, como entornos marítimos o industriales.



La nanosílice es una forma refinada de dióxido de silicio, con nanopartículas que mejoran la interacción con la microestructura del hormigón. La nanosílice mejora la resistencia a la compresión y reduce notablemente el desarrollo de microfisuras, mejorando así la cohesividad interna de la matriz del cemento. El diminuto tamaño de la nanosílice permite su rápida interacción que mejoran la estructura del hormigón a microescala. La nanosílice es un aditivo beneficioso para la producción de hormigón duradero y de alta resistencia, particularmente en ambientes que requieren resistencia química y baja permeabilidad. (Lara & Sandro, 2022)

Tanto la microsílice como la nanosílice mejoran significativamente la durabilidad del hormigón en entornos difíciles. El uso de microsílice reduce la permeabilidad del hormigón, restringiendo así la entrada de sustancias químicas como cloruros y sulfatos que podrían inducir la corrosión del acero de refuerzo. Esto es fundamental en proyectos sometidos a entornos marítimos o en contacto con agua salada, donde la corrosión es una de las principales causas de degradación. La nanosílice, debido a su diminuto tamaño, permite una mayor densificación de la matriz del hormigón, proporcionando así una mayor protección contra la infiltración de productos químicos nocivos.

Además de aumentar la resistencia y la durabilidad, tanto la microsílice como la nanosílice mejoran otras características del hormigón, incluida la resistencia a la abrasión y al impacto. Son aditivos óptimos para su uso en pavimentos industriales, pisos de almacenes y construcciones expuestas a tensiones dinámicas. El uso de estos aditivos requiere una dosificación precisa y una supervisión estricta del procedimiento de mezclado, ya que sus dimensiones y reactividad pueden influir en varias características del hormigón, incluido el tiempo de fraguado y la trabajabilidad. (Lara & Sandro, 2022)

La integración de microsílice y nanosílice ha revolucionado la mejora de las características del hormigón. Estas mejoras son cruciales en proyectos que requieren un rendimiento excepcional y edificios duraderos al aumentar la resistencia, la durabilidad y la resistencia del concreto a los químicos corrosivos. El uso de estos materiales mejora la



capacidad de carga y la durabilidad del hormigón, al tiempo que promueve la sostenibilidad al minimizar los requisitos de mantenimiento y reparación a lo largo del tiempo.

### 2.2.3.1 Concepto de microsílíce y nanosílíce en materiales de construcción

La microsílíce, también conocida como humo de sílice, es un subproducto producido durante la fabricación de aleaciones de silicio y ferrosilicio, particularmente en hornos de arco eléctrico utilizados para fundir minerales ricos en silicio. Este material se compone principalmente de partículas ultrafinas de dióxido de silicio amorfo ( $\text{SiO}_2$ ), que suelen tener un tamaño de 0,1 a 1 micrómetro. La microsílíce tiene una superficie específica mucho mayor que los componentes de hormigón tradicionales, como el cemento Portland, debido al tamaño diminuto de sus partículas. Esta propiedad le permite servir como relleno en mezclas de concreto, llenando los espacios entre las partículas de cemento y los agregados, dando como resultado un concreto más denso y menos permeable. (Lara & Sandro, 2022)

La nanosílíce es una variante avanzada del dióxido de silicio, caracterizada por su tamaño nanométrico, con partículas que miden menos de 100 nanómetros (0,1 micrómetros). La nanosílíce tiene una superficie específica mucho mayor que la microsílíce debido a su pequeño tamaño, lo que aumenta considerablemente su reactividad. La nanosílíce, similar a la microsílíce, se acopla con el hidróxido de calcio de manera más rápida y eficiente debido a su superficie mejorada y su capacidad de dispersión uniforme en toda la combinación. La síntesis adicional de compuestos C-S-H a partir de nanosílíce mejora la matriz del hormigón, lo que lleva a una mayor resistencia a la compresión y a una estructura interna más unificada y densa. (Lara & Sandro, 2022)

La nanosílíce mejora significativamente la microestructura del hormigón de forma más eficaz que la microsílíce. Su pequeño tamaño le permite penetrar los poros más finos de la mezcla de cemento, reduciendo así la formación de microfisuras y huecos, debilidades que pueden comprometer la durabilidad del hormigón a largo plazo. La



nanosílíce mejora la cohesión interna del material al reducir el tamaño y la cantidad de defectos microscópicos, lo que da como resultado un hormigón que demuestra una mayor resiliencia a las tensiones mecánicas y a las condiciones ambientales adversas, como los ciclos de congelación y descongelación. Esto lo convierte en una opción ideal para proyectos que requieren alto rendimiento y durabilidad, como grandes infraestructuras expuestas a ambientes marinos, agentes químicos o cargas dinámicas importantes. (Lara & Sandro, 2022)

Además de mejorar la resistencia mecánica y la microestructura, tanto la microsílíce como la nanosílíce afectan significativamente la durabilidad del hormigón. La microsílíce aumenta la densidad de la mezcla y reduce su permeabilidad, haciendo que el hormigón sea menos vulnerable a la penetración de agua y sales que podrían provocar la corrosión de las barras de refuerzo de acero. En ambientes donde el concreto está expuesto a agua salina o suelos con altas concentraciones de sulfato, la incorporación de microsílíce es crucial para prevenir el deterioro prematuro. La nanosílíce, debido a su capacidad para modificar la microestructura a nivel nanométrico, ofrece una mejor defensa contra la penetración de productos químicos nocivos al sellar los poros más pequeños del hormigón.

Es fundamental reconocer que si bien ambas adiciones son bastante beneficiosas, su uso requiere un control estricto de la dosis y la composición. La mayor reactividad de la nanosílíce puede afectar varias propiedades del hormigón, como el tiempo de fraguado y la trabajabilidad. Por lo tanto, es fundamental ajustar cuidadosamente su uso en función de las condiciones únicas del proyecto y los requisitos de diseño de la mezcla. Además, el coste de la nanosílíce a menudo supera al de la microsílíce, lo que puede influir en la selección entre las dos debido a restricciones presupuestarias y a las propiedades deseadas del hormigón. (Rojas & Eladio, 2021)

En resumen, la microsílíce y la nanosílíce son aditivos avanzados de dióxido de silicio que mejoran significativamente el rendimiento del hormigón. La microsílíce mejora la densificación y la resistencia mecánica, junto con la durabilidad frente a agentes adversos,



mientras que la nanosílice aumenta aún más estas propiedades al refinar la microestructura del hormigón a escala nanométrica, aumentando así su resistencia y durabilidad. Ambos aditivos son cruciales para producir concreto de alto rendimiento, especialmente en aplicaciones que requieren durabilidad y resistencia a condiciones severas.

### **2.2.3.2 Influencia de la microsíllice en la resistencia y durabilidad del concreto**

La microsíllice, a veces denominada humo de sílice, influye significativamente en las características mecánicas, físicas y de durabilidad del hormigón hidráulico. El uso de este material en mezclas de concreto se ha vuelto frecuente en proyectos de construcción que requieren materiales duraderos y de alta resistencia, como puentes, presas, túneles y estructuras sujetas a condiciones climáticas severas. La microsíllice es un residuo industrial formado por partículas ultrafinas de dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) que, al incorporarse al hormigón, sirve como un añadido mineral que mejora significativamente su rendimiento. Los principales impactos de la microsíllice en el hormigón hidráulico se describen a continuación. (Rojas & Eladio, 2021)

#### **Resistencia a la compresión mejorada**

Una consecuencia principal de la microsíllice en el hormigón es la mejora sustancial de la resistencia a la compresión. Las minúsculas partículas de microsíllice son mucho más pequeñas que las partículas de cemento Portland y ocupan los huecos en la matriz del hormigón, lo que da como resultado una composición más densa y compacta. Este procedimiento reduce la porosidad interna del hormigón, aumentando así su resistencia. Además, la microsíllice interactúa químicamente con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), un subproducto de la hidratación del cemento, lo que resulta en la formación de moléculas adicionales de hidrato de silicato de calcio (C-S-H) que mejoran la integridad estructural del concreto. Esta reacción secundaria mejora la cohesividad de la mezcla, haciendo que el hormigón sea más resistente a las tensiones de compresión. El uso de microsíllice puede



mejorar la resistencia a la compresión del hormigón entre un 15% y un 30%, dependiendo de la dosis y los parámetros de mezclado. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Permeabilidad disminuida**

Un impacto significativo de la microsílíce es la cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto del hormigón. La microsílíce mejora la durabilidad del concreto al reducir los espacios y poros, obstruyendo así el ingreso de líquidos y gases, lo que fomenta la resistencia a la infiltración de agua, cloruros, sulfatos y otras sustancias nocivas. Esta característica es particularmente crucial en entornos donde el hormigón soporta circunstancias duras, como edificios junto al agua de mar o en zonas industriales, donde los productos químicos pueden socavar la integridad del hormigón. La microsílíce reduce la permeabilidad, mejorando así la resistencia del hormigón a los procesos de degradación, incluida la carbonatación y el ataque de cloruros, que pueden provocar la corrosión de los refuerzos de acero. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Resiliencia mejorada**

La incorporación de microsílíce mejora notablemente la durabilidad del hormigón hidráulico. La disminución de la porosidad y la permeabilidad mejora la resistencia mecánica y prolonga la durabilidad de los edificios al proteger el hormigón de influencias ambientales perjudiciales. La microsílíce mejora la matriz del concreto, haciéndola menos vulnerable a los ciclos de congelación y descongelación que pueden inducir agrietamiento y degradación en ambientes fríos. Además, al disminuir la entrada de agua y otras sustancias corrosivas, la microsílíce ayuda a prevenir la expansión interna del hormigón causada por reacciones álcali-sílíce, que pueden provocar grietas y fallas estructurales.

### **Mayor cohesión y menor segregación**

Otro efecto ventajoso de la microsílíce en el hormigón es la mejora de la cohesividad de la mezcla. La microsílíce, debido a su tamaño diminuto y su superficie elevada, funciona como un relleno que adhiere eficientemente las partículas de cemento y agregados. Esto mejora la uniformidad de la mezcla, disminuyendo la probabilidad de



segregación (la separación de componentes más densos como agregados del cemento y el agua). Garantizar una mezcla homogénea significa que el hormigón tenga cualidades consistentes en toda la estructura, lo cual es crucial para su resistencia y durabilidad a largo plazo. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Resistencia química mejorada**

La microsílíce mejora la resistencia química del hormigón. En entornos donde los edificios están sujetos a sulfatos, ácidos, cloruros u otros elementos dañinos, el concreto puede experimentar una degradación temprana. La capacidad de la microsílíce para disminuir la permeabilidad del hormigón inhibe la penetración de productos químicos nocivos, evitando así reacciones químicas perjudiciales como la expansión del ataque de sulfatos o la corrosión del refuerzo. Este elemento es esencial en el desarrollo de infraestructura crítica, como plantas de tratamiento de agua, túneles y puentes, donde la exposición a sustancias químicas sigue siendo un problema persistente.

### **Regulación de la expansión de la reacción álcali-sílice**

La incorporación de microsílíce reduce sustancialmente la reacción álcali-sílice (ASR), un proceso químico en el que ciertos agregados reaccionan con los álcalis del cemento, lo que resulta en la formación de un gel que se expande cuando se expone a la humedad. Esta expansión puede provocar grietas en el hormigón, comprometiendo su durabilidad. La microsílíce disminuye la concentración de hidróxido de calcio, restringiendo así la disponibilidad de álcalis reactivos y, por tanto, reduciendo la probabilidad de esta reacción perjudicial. (Rojas & Eladio, 2021)

En conclusión, la microsílíce tiene varios efectos ventajosos sobre el hormigón hidráulico. La microsílíce ha demostrado su eficacia como ingrediente crucial en formulaciones de concreto de alto rendimiento al mejorar la resistencia a la compresión, disminuir la permeabilidad, aumentar la durabilidad y brindar protección contra agentes químicos hostiles. Su capacidad para alterar la microestructura del hormigón y mejorar su

matriz lo convierte en una selección óptima para proyectos que requieren una vida útil prolongada y una mayor resistencia a condiciones climáticas severas.

### **2.2.3.3 Resultados de incorporar nanosílice en mezclas de concreto**

#### **Efecto de la nanosílice sobre el hormigón hidráulico**

La nanosílice es un aditivo superior que mejora significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón hidráulico. Consiste en partículas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) a nanoescala, que normalmente miden menos de 100 nanómetros. Las nanosílices, debido a su pequeño tamaño y alta superficie específica, tienen una capacidad única para interactuar con la matriz del cemento a nivel molecular, mejorando significativamente la estructura interna del hormigón. Los principales efectos de la nanosílice sobre el hormigón hidráulico son los siguientes:

#### **Resistencia a la compresión mejorada**

La nanosílice mejora significativamente la resistencia a la compresión del hormigón. El pequeño tamaño de las partículas de nanosílice permite su dispersión uniforme por toda la mezcla, llenando eficazmente los espacios e intersticios entre las partículas de cemento y los agregados de manera más eficiente que otros aditivos. La nanosílice también promueve la síntesis de mayores cantidades de moléculas de hidrato de silicato de calcio (C-S-H), que son directamente responsables de la resistencia mecánica del hormigón. La mayor generación de C-S-H mejora la cohesividad de la matriz del hormigón, haciéndola más compacta y duradera. La nanosílice puede mejorar la resistencia a la compresión hasta en un 20% en comparación con el hormigón convencional, dependiendo de la dosis y la calidad de los materiales utilizados. (Rojas & Eladio, 2021)

#### **Microestructura mejorada**

Un efecto significativo de la nanosílice es su capacidad para mejorar la microestructura del hormigón. La nanosílice, debido a sus dimensiones a nanoescala, puede interactuar con los diminutos poros de la mezcla de cemento, reduciendo así el



tamaño de los poros y eliminando las microfisuras que a menudo ocurren durante el fraguado y endurecimiento del hormigón. Esto produce una estructura más densa y homogénea, mejorando la resistencia mecánica y aumentando la durabilidad del material. La reducción de huecos y microfisuras mejora la resiliencia del concreto contra elementos nocivos que pueden penetrar y deteriorar la matriz con el tiempo, como agua, cloruros o sulfatos. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Permeabilidad disminuida**

La permeabilidad del hormigón es un factor crucial que influye en su durabilidad, y la nanosílice desempeña un papel clave en la disminución de esta propiedad. La permeabilidad se refiere a la capacidad del hormigón para permitir la penetración de líquidos y gases en su estructura interna. El hormigón con mayor permeabilidad es más vulnerable a la infiltración de sustancias nocivas, como agua, cloruros y otros productos químicos, lo que podría provocar degradación por corrosión o reacciones químicas adversas. La nanosílice reduce significativamente la permeabilidad del hormigón al llenar huecos más pequeños y mejorar la estructura interna. Esto es particularmente vital en escenarios donde el concreto soportará condiciones ambientales severas, como edificios costeros, infraestructuras subterráneas o áreas industriales. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Resiliencia mejorada**

La incorporación de nanosílice mejora la durabilidad del hormigón hidráulico. La nanosílice aumenta la densidad y reduce la permeabilidad, protegiendo así el hormigón contra factores de deterioro que a menudo afectan su durabilidad. Esto incluye los efectos de agentes químicos fuertes, ciclos de congelación y descongelación y la penetración de cloruros, que pueden provocar la corrosión del refuerzo de acero. La nanosílice prolonga significativamente la vida útil de las estructuras al limitar la penetración de productos químicos nocivos en el hormigón, reduciendo así la necesidad de mantenimiento y reparaciones. La nanosílice protege eficazmente el hormigón contra la penetración de cloruro, crucial para estructuras expuestas a agua salina o ambientes marinos.



### **Resistencia a la corrosión**

El hormigón armado con acero es propenso a la corrosión en circunstancias severas, especialmente en ambientes con altos niveles de cloruros o sulfatos. La nanosílice mejora la microestructura del hormigón y disminuye la permeabilidad, creando así una barrera más eficaz contra la entrada de cloruros y otros agentes que pueden inducir la corrosión del acero. La nanosílice reduce el riesgo de formación de productos de corrosión que podrían provocar grietas y deterioro del hormigón. Esto es especialmente crítico en infraestructuras vitales, como puentes y túneles, donde la corrosión de las barras de acero puede provocar fallas estructurales si no se maneja adecuadamente. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Mejora de las reacciones de hidratación**

Una característica importante de la nanosílice es su capacidad para acelerar los procesos de hidratación del cemento. La nanosílice tiene una superficie reactiva mucho mayor en comparación con el cemento o la microsílice, actuando como catalizador para los procesos de hidratación y promoviendo una formación acelerada de C-S-H. Este efecto es particularmente ventajoso en proyectos que requieren tiempos de fraguado rápidos o una mejora temprana en la resistencia del concreto. La aceleración de los procesos de hidratación puede mejorar la resistencia temprana del hormigón, permitiendo una puesta en marcha más rápida del proyecto en escenarios que exigen una ejecución rápida. (Rojas & Eladio, 2021)

### **Supervisión de las pérdidas**

La contracción del hormigón es un fenómeno que se produce durante todo el proceso de fraguado y endurecimiento cuando el hormigón pierde humedad y se contrae. Si no se maneja correctamente, la contracción puede provocar grietas que comprometan la integridad estructural del hormigón. La nanosílice mejora la cohesividad de la matriz del cemento y reduce la porosidad, aliviando así la contracción del hormigón. Esto es



particularmente vital en estructuras extensas o expuestas a variaciones repentinas de temperatura, donde

#### **2.2.3.4 Similitudes y contrastes entre microsílíce y nanosílíce**

La microsílíce y la nanosílíce son aditivos minerales derivados del dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) que se utilizan para mejorar las propiedades del hormigón hidráulico, especialmente en términos de resistencia y durabilidad. Ambos materiales tienen capacidades similares para densificar la matriz del hormigón y reducir la permeabilidad; sin embargo, presentan diferencias notables debido a las variaciones en el tamaño de las partículas y sus efectos sobre la microestructura del concreto. Este documento delinea las principales diferencias y similitudes entre microsílíce y nanosílíce, enfatizando sus propiedades y aplicaciones. (Velasquez Pizango, 2019)

##### **Tamaño de los gránulos**

La microsílíce tiene partículas que varían de 0,1 a 1 micrómetro de diámetro. Este tamaño es mucho más pequeño que el del cemento Portland convencional, lo que permite que la microsílíce llene los huecos en la matriz del hormigón, aumentando así su densidad y disminuyendo su porosidad. Por el contrario, la nanosílíce tiene un tamaño de partícula mucho más pequeño, midiendo en la escala nanométrica (por debajo de 100 nanómetros). La nanosílíce, debido a su pequeño tamaño, tiene una superficie específica mucho mayor que la microsílíce, lo que lleva a una mayor reactividad y una mayor eficacia para mejorar la microestructura del hormigón.

##### **Efectos sobre la microestructura del hormigón**

Ambos aditivos mejoran la microestructura del hormigón; sin embargo, la nanosílíce tiene un efecto más pronunciado debido a su eficacia a escala nanométrica. La nanosílíce impregna los minúsculos poros del compuesto cementoso, mejorando la estructura interna del hormigón de forma más eficaz que la microsílíce. Esto mitiga la formación de microfisuras y huecos, mejorando así la cohesión y densidad del hormigón. Por el contrario,



la microsílíce, aunque también reduce la porosidad y aumenta la densidad, funciona en una escala más macroscópica, llenando huecos más grandes, fortaleciendo así la resistencia del hormigón, pero exhibiendo una menor capacidad para modificar la microestructura a nivel nanométrico. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Reactividad y síntesis de hidrato de silicato de calcio**

Tanto la microsílíce como la nanosílíce interactúan con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) generado durante la hidratación del cemento, lo que lleva a la síntesis de compuestos de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que mejoran la resistencia y cohesión de la matriz del concreto. La nanosílíce tiene una reactividad mucho mayor debido a su superficie mejorada en comparación con la microsílíce. Esto permite que la nanosílíce produzca más C-S-H en un período de tiempo reducido, fortaleciendo así la matriz de hormigón más rápidamente. La microsílíce facilita la formación de C-S-H; sin embargo, su reactividad es menor que la de la nanosílíce, lo que resulta en una mejora más gradual de la resistencia y cohesión del concreto. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Resistencia a la compresión**

Ambos aditivos mejoran la resistencia a la compresión del hormigón; sin embargo, el grado de mejora varía. La microsílíce mejora la resistencia a la compresión del hormigón entre un 15% y un 30% al reducir la porosidad y aumentar la cantidad de C-S-H, dependiendo de la dosificación y las condiciones de mezclado. La nanosílíce aumenta significativamente la resistencia a la compresión, produciendo mejoras superiores al 30%. Esto surge de su capacidad para modificar de forma más efectiva la microestructura del hormigón y mejorar la densificación de la matriz del cemento.

### **Permeabilidad y resiliencia**

Ambos aditivos reducen sustancialmente la permeabilidad del hormigón, mejorando así su durabilidad frente a productos químicos perjudiciales como el agua, los cloruros y los sulfatos. La microsílíce funciona como una barrera que disminuye la permeabilidad al llenar los huecos entre las partículas de cemento, obstruyendo así la



entrada de elementos nocivos que podrían causar corrosión del acero de refuerzo o deterioro químico. La nanosílice, sin embargo, ofrece una mayor resistencia. Como los aditivos reducen la permeabilidad del concreto debido a su capacidad para obstruir pequeñas aberturas, evitando así la infiltración de líquidos y gases de manera más eficaz. Como resultado, el hormigón infundido con nanosílice demuestra una mayor resistencia a la penetración de cloruros, sulfatos y otros agentes corrosivos, prolongando así la vida útil de las estructuras.

### **Solicitudes y gastos**

La microsílice se ha utilizado durante décadas en la producción de hormigón duradero y de alta resistencia, particularmente en proyectos de infraestructura como puentes, presas, túneles y estructuras industriales. La nanosílice, un material innovador y costoso, se utiliza principalmente en aplicaciones de hormigón de alto rendimiento, especialmente en estructuras sometidas a condiciones extremas, como cargas dinámicas, entornos adversos o la necesidad de una mayor durabilidad contra ataques de agentes corrosivos. La nanosílice, debido a su mayor costo y la necesidad de un control preciso de la dosis, se utiliza principalmente en aplicaciones especializadas, mientras que la microsílice presenta una opción más económica y versátil para mejorar las propiedades del concreto en diversos proyectos. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Determinación del tiempo de fraguado y trabajabilidad**

La adición de microsílice a la mezcla de concreto puede aumentar la demanda de agua, afectando así la trabajabilidad del material y requiriendo el uso de superplastificantes para mantener una consistencia adecuada sin comprometer la resistencia. Asimismo, la microsílice prolonga el tiempo de fraguado de la mezcla, lo que puede resultar beneficioso en temperaturas elevadas o aplicaciones a gran escala. La nanosílice acelera los procesos de hidratación, disminuyendo así el tiempo de fraguado y aumentando la resistencia inicial del hormigón. Sin embargo, los efectos del exceso de velocidad deben controlarse cuidadosamente para evitar complicaciones con la trabajabilidad y el tiempo de colocación.

### **Impacto en la sostenibilidad**

Ambas mejoras mejoran la sostenibilidad de los edificios al prolongar la longevidad estructural y reducir la necesidad de mantenimiento y reparaciones. Mejorar la durabilidad y vida útil del concreto reduce el uso de recursos naturales y energía asociados con el mantenimiento o reemplazo de infraestructura deteriorada. Sin embargo, la cantidad reducida de nanosílice necesaria para obtener resultados significativos y su potencial para aumentar el rendimiento a altos estándares hacen que este aditivo sea muy prometedor para la sostenibilidad en proyectos donde su costo está justificado. (Velasquez Pizango, 2019)

### Evaluación concluyente

En resumen, la microsílice y la nanosílice son aditivos eficaces que mejoran las propiedades del hormigón hidráulico, aunque mediante métodos diferentes debido a sus diferentes tamaños de partículas y niveles de reactividad. La microsílice es económica y adaptable para muchos usos; sin embargo, la nanosílice ofrece ventajas superiores, incluida la mejora de la microestructura, la resistencia a la compresión mejorada y una mayor durabilidad, lo que la hace ideal para proyectos de concreto de primera calidad. eficacia óptima. La elección de una adición específica depende de los distintos requisitos, las condiciones ambientales y las limitaciones financieras del proyecto. (Velasquez Pizango, 2019)

**Tabla 2**

*Evaluación comparativa de los factores principales*

Aspecto	Microsílice	Nanosílice
<b>Tamaño de las partículas</b>	Micrométrica (0.1-1 $\mu\text{m}$ )	Nanométrica (< 100 nm)
<b>Reactividad y formación de C-S-H</b>	Reactividad moderada, formación de C-S-H	Reactividad alta, mayor formación de C-S-H
<b>Resistencia a la compresión</b>	Incremento del 15% al 30%	Incremento superior al 30%

---

<b>Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto</b>	Reducción significativa de la permeabilidad	Reducción aún mayor, sellado de poros más pequeños
<b>Efecto en la microestructura</b>	Mejora la densidad, rellena vacíos grandes	Refina la microestructura, reduce microfisuras
<b>Aplicaciones</b>	Usada ampliamente en infraestructuras como puentes y túneles	Aplicaciones especializadas de alto rendimiento
<b>Costo</b>	Más económica que la nanosílice	Más costosa
<b>Tiempo de fraguado</b>	Aumenta el tiempo de fraguado	Acelera el tiempo de fraguado
<b>Trabajabilidad</b>	Disminuye la trabajabilidad, requiere superplastificantes	Mejora la trabajabilidad en dosis adecuadas
<b>Durabilidad</b>	Buena mejora en la durabilidad	Durabilidad superior, mayor resistencia a agentes agresivos

---

#### **2.2.4 Propiedades mejoradas con microsílíce y nanosílíce**

El uso de microsílíce y nanosílíce en el hormigón hidráulico modifica significativamente sus características, mejorando tanto sus capacidades mecánicas como su durabilidad. Estos aditivos operan en gran medida dentro de la matriz del cemento, aumentando la densidad, la cohesión interna y la resistencia del hormigón. Aunque ambos tipos de sílice exhiben características comparables, el tamaño de sus partículas y su reactividad con los componentes del cemento proporcionan efectos únicos que mejoran el desempeño del concreto de diversas maneras. (Velasquez Pizango, 2019)

##### **Resistencia a la compresión mejorada**



Ambas sílices mejoran esta característica al reducir la porosidad de la matriz del cemento y aumentar la cantidad de productos de hidratación del cemento, especialmente compuestos de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que aumentan principalmente la resistencia mecánica del hormigón. La microsílíce puede mejorar la resistencia a la compresión entre un 15% y un 30%, pero la nanosílíce, debido a su mayor área superficial y reactividad, puede aumentar la resistencia en más del 30%. La densificación de la matriz de hormigón y la reducción de espacios internos son características esenciales que mejoran la resistencia, haciendo que el hormigón tratado con estos aditivos sea apropiado para aplicaciones de alta demanda estructural, incluidos puentes, presas y estructuras altamente cargadas.

### **Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

Ambos aditivos, especialmente la nanosílíce, reducen significativamente la permeabilidad del hormigón al densificar la matriz y obstruir los poros y microfisuras. La nanosílíce, debido a sus dimensiones nanométricas, puede interactuar más eficazmente con la microestructura del hormigón, reduciendo así la permeabilidad de manera más eficiente que la microsílíce. La Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto es crucial en entornos donde el hormigón soporta condiciones severas, como estructuras costeras, túneles subterráneos y pavimentos industriales. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Resiliencia mejorada**

El uso de estos químicos mejora significativamente la durabilidad del hormigón, ya que la reducida permeabilidad lo protege de agentes externos que pueden provocar su deterioro con el tiempo. En entornos adversos, como contextos marinos o industriales, la microsílíce y la nanosílíce funcionan como una barrera protectora, obstruyendo la penetración de cloruros, sulfatos o productos químicos en la matriz del hormigón y evitando daños. Esta protección es esencial para prevenir la corrosión del acero de refuerzo, ya que una menor penetración de cloruro reduce el riesgo de oxidación del acero, limitando así la expansión interna que podría provocar grietas y delaminación de la estructura de hormigón.



La nanosílice mejora la microestructura y crea una barrera más eficaz, lo que aumenta la durabilidad y reduce la vulnerabilidad del hormigón al deterioro a largo plazo.

### **Resistencia a la corrosión**

El hormigón armado con acero es particularmente vulnerable a la corrosión cuando se somete a cloruros o productos químicos fuertes. El uso de microsílice y nanosílice mejora notablemente la resistencia a la corrosión al reducir la permeabilidad y aumentar la densidad del hormigón. Ambos aditivos mejoran la resistencia de los cloruros a penetrar y alcanzar el acero de refuerzo, protegiendo así el acero contra la corrosión y la consiguiente degradación estructural. La nanosílice, en particular, forma una barrera más eficaz al sellar pequeñas aberturas, ofreciendo así una protección superior en comparación con la microsílice. Esta característica es esencial en instalaciones críticas como puentes, túneles o proyectos costeros, donde la exposición a condiciones climáticas adversas es inevitable.

### **Resiliencia mejorada a los ciclos de congelación y descongelación**

El uso de microsílice y nanosílice mejora la durabilidad del hormigón frente a los ciclos de congelación y descongelación, un problema común en las regiones frías. Cuando el agua penetra en el hormigón y luego se congela, se expande, provocando la creación de grietas internas y, con el tiempo, el deterioro del material. La incorporación de estos compuestos reduce la permeabilidad y aumenta la densidad del hormigón, reduciendo así la cantidad de agua que puede penetrar la matriz y disminuyendo el peligro de daños inducidos por la congelación. Además, la nanosílice mejora la microestructura del hormigón, lo que lleva a una mayor cohesión interna que aumenta la resistencia del material a la expansión causada por el hielo. Esta mejora es particularmente ventajosa para infraestructuras expuestas a condiciones climáticas severas, como pavimentos y estructuras en regiones con inviernos duros. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Reducción de la contracción**

La adición de microsílice y nanosílice afecta la contracción del hormigón. La contracción ocurre cuando el concreto pierde humedad y se contrae durante las etapas de



fraguado y endurecimiento, lo que posiblemente lleve al desarrollo de grietas. La nanosílice mejora la cohesividad de la matriz del cemento y reduce la porosidad interna, mitigando así la contracción y, posteriormente, reduciendo la probabilidad de formación de grietas. Esto es especialmente crítico en estructuras grandes, ya que la contracción puede crear tensiones internas significativas que comprometan la durabilidad del hormigón. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Trabajabilidad mejorada**

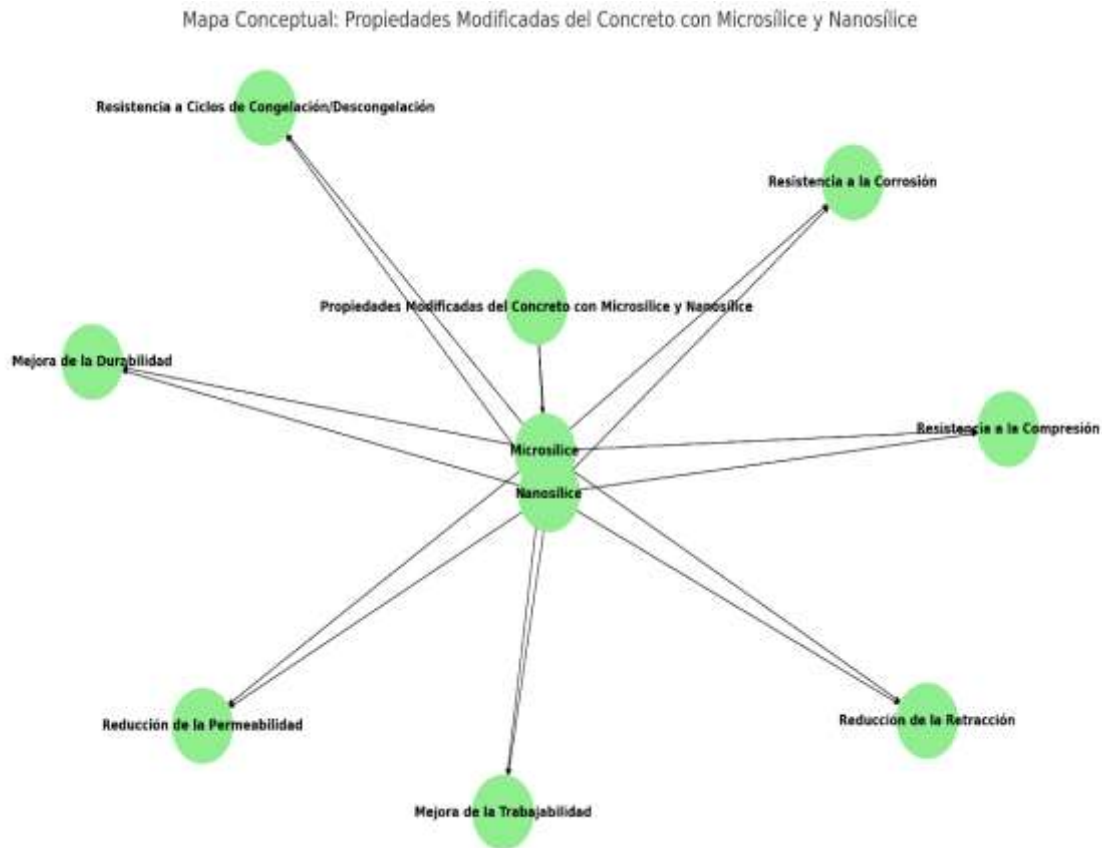
La trabajabilidad del hormigón, caracterizada por la sencillez de mezclado, colocación y compactación, se ve afectada por la adición de determinados aditivos. La microsílice a menudo reduce la trabajabilidad de la mezcla debido a su gran superficie, lo que aumenta la demanda de agua. Este problema puede mitigarse con el uso de superplastificantes, que mantienen la fluidez de la mezcla sin aumentar la relación agua-cemento. La nanosílice, aunque aumenta la demanda de agua, mejora la trabajabilidad en cantidades mínimas al acelerar los procesos de hidratación y mejorar la cohesividad interna del concreto, permitiendo así un manejo más fácil de la mezcla, especialmente en aplicaciones que requieren un fraguado rápido. (Velasquez Pizango, 2019)

### **Evaluación concluyente**

La integración de microsílice y nanosílice en el hormigón hidráulico mejora notablemente sus propiedades, convirtiéndolo en un material más robusto y duradero adecuado para su uso en entornos desafiantes. Tanto la microsílice como la nanosílice mejoran la resistencia a la compresión, reducen la permeabilidad y aumentan la durabilidad; sin embargo, la nanosílice, debido a su escala nanométrica y su mayor reactividad, ofrece beneficios adicionales en el refinamiento microestructural, una mayor resistencia a la corrosión y una resiliencia superior a los ciclos de congelación y descongelación. La elección de cualquiera de las dos adiciones dependerá de las necesidades específicas del proyecto, las limitaciones financieras y las condiciones ambientales a las que estará expuesto el concreto. (Velasquez Pizango, 2019)

**Figura 1**

*Visualización de conceptos de micro y macro sílice*



### 2.2.4.1 Cómo los aditivos mejoran la resistencia compresiva del concreto

La resistencia a la compresión es una propiedad crítica del hormigón, ya que indica su capacidad para soportar presiones que intentan disminuir su volumen. Es crucial en aplicaciones estructurales donde el hormigón soporta cargas importantes, como en edificios, puentes y carreteras. El uso de microsilice y nanosilice en el hormigón hidráulico mejora notablemente su resistencia a la compresión. Esta mejora es atribuible principalmente a cambios en la microestructura del hormigón, la densificación de su matriz y la creación complementaria de productos de hidratación. (Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

La microsilice tiene un tamaño de partícula mucho menor que el de los componentes del hormigón convencional, incluido el cemento Portland. La incorporación



de microsílíce a la mezcla facilita la dispersión uniforme de partículas ultrafinas que rellenan los intersticios entre las partículas de cemento y los áridos. Esto conduce a una composición más densa y compacta, caracterizada por una porosidad reducida, minimizando así el potencial de formación de fracturas o infiltración por agentes externos. La microsílíce participa en la hidratación del cemento al reaccionar con hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), un subproducto indeseable, para producir moléculas suplementarias de hidrato de silicato de calcio (C-S-H), mejorando así la resistencia mecánica del hormigón. Esta reacción secundaria aumenta la cantidad de C-S-H en la matriz del hormigón, fortaleciendo así la estructura y mejorando la resistencia a la compresión. El aumento de la resistencia puede oscilar entre un 15% y un 30%, dependiendo de la dosis y la calidad de los materiales utilizados. (Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

La nanosílíce, debido a sus dimensiones a nanoescala, mejora significativamente la resistencia a la compresión. Las partículas de nanosílíce, debido a su tamaño diminuto en comparación con las partículas de microsílíce, pueden infiltrarse más profundamente en la matriz del hormigón y llenar los poros más pequeños. Esta capacidad de tapar microhuecos reduce la porosidad y mejora la cohesión interna del hormigón, produciendo una matriz más densa y homogénea. Además, la nanosílíce tiene una superficie reactiva mucho mayor en comparación con la microsílíce, lo que acelera los procesos de hidratación y mejora la formación de C-S-H. El resultado es una estructura más compacta y resistente capaz de soportar mayores tensiones de compresión. En algunos casos, la Cómo los aditivos mejoran la resistencia compresiva del concreto puede superar el 30%, lo que convierte a la nanosílíce en un ingrediente muy beneficioso en la composición del hormigón de alto rendimiento. (Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

La disminución de la porosidad, acompañada de la densificación de la matriz del hormigón, es crucial para mejorar la resistencia a la compresión. El aumento de la porosidad en el hormigón aumenta su vulnerabilidad a fracturas internas bajo presiones de compresión, disminuyendo así su capacidad para soportar cargas sin distorsión ni daño.



La microsílíce y la nanosílíce mejoran la densidad y durabilidad de la mezcla al disminuir el tamaño y la cantidad de poros, lo que permite que el concreto resista presiones de compresión sin fallar.

Mejorar la resistencia a la compresión tiene ramificaciones prácticas considerables. En proyectos que requieren hormigón de alta resistencia, como rascacielos, presas o puentes, el uso de estos compuestos mejora la construcción de estructuras más seguras y resilientes. Además, la Cómo los aditivos mejoran la resistencia compresiva del concreto facilita una disminución del consumo de material, ya que se puede utilizar hormigón más resistente sin necesidad de un aumento de volumen, promoviendo así la eficiencia económica y medioambiental en los proyectos.

La adición de micro sílice y nano sílice al hormigón hidráulico mejora significativamente su resistencia a la compresión al densificar la matriz del cemento, disminuir la porosidad y facilitar el desarrollo de productos de hidratación como C-S-H. Esta mejora es esencial para proyectos que exigen un rendimiento mecánico superior y garantiza que el hormigón pueda soportar tensiones de compresión significativas sin poner en peligro su integridad estructural.(Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

#### **2.2.4.2 Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

La permeabilidad es una característica esencial del hormigón, ya que determina su capacidad para dejar fluir líquidos y gases a través de su matriz. El hormigón con mayor permeabilidad es más vulnerable a la entrada de agua, cloruros, sulfatos y otras sustancias químicas nocivas, lo que podría provocar el deterioro de la matriz de cemento y la corrosión del refuerzo de acero, poniendo en peligro la longevidad de la estructura. La disminución de la permeabilidad es una mejora significativa obtenida mediante el uso de microsílíce y nanosílíce en el hormigón hidráulico, extendiendo así la vida útil del hormigón y aumentando su durabilidad frente a condiciones desfavorables.

### **Impacto de la micro sílice en la Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

La microsíllice, debido a su diminuto tamaño de partícula, sirve como relleno que ocupa los espacios y poros entre las partículas de cemento y los agregados en la matriz del concreto. La microsíllice mejora la densidad del concreto al disminuir la cantidad y dimensiones de los poros, estableciendo así una barrera física que obstruye la infiltración de líquidos y gases. (Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

El resultado es una matriz más compacta y resistente, caracterizada por vías reducidas para la infiltración de líquidos. Esto es particularmente crucial en proyectos sujetos a condiciones climáticas extremas, como entornos marítimos o industriales, donde los agentes corrosivos pueden provocar una rápida degradación. El hormigón infundido con microsíllice exhibe menos permeabilidad, lo que mejora su resistencia a los ataques de cloruro y sulfato, mitigando así la corrosión del acero y el deterioro estructural.

### **Impacto de la nano sílice en la Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

La nanosíllice, por sus dimensiones nanométricas, mejora significativamente la Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto del hormigón. Las partículas de nanosíllice, mucho más pequeñas que las de microsíllice, pueden infiltrarse en los diminutos poros de la matriz del hormigón y sellarlos de manera más eficiente. El sellado completo de los poros reduce significativamente la cantidad de huecos en la estructura de hormigón, obstruyendo así de forma más eficaz la penetración de agua y sustancias corrosivas. Además, la mayor reactividad de la nanosíllice con los productos de hidratación del cemento acelera la síntesis de C-S-H, mejorando así la resistencia de la matriz y reduciendo su permeabilidad. (Cajavilca Choquemamani & Calderon Mamani, 2022)

La capacidad de la nanosíllice para llenar microhuecos y disminuir la porosidad influye significativamente en la durabilidad del concreto, particularmente en situaciones con cloruro significativo y exposición química severa. La disminución de la permeabilidad



mejora la resistencia del hormigón a la corrosión del acero de refuerzo y disminuye la probabilidad de expansión interna causada por productos de reacción indeseables, como el gel de sílice, formado en presencia de álcalis y agua.

### **Ventajas tangibles de la Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

La incorporación de microsílíce y nanosílíce disminuye la permeabilidad, lo que aporta importantes ventajas para la durabilidad y el mantenimiento de las construcciones de hormigón. Al restringir la infiltración de agua y otros líquidos, reduce la probabilidad de expansión interna resultante de los ciclos de congelación y descongelación, un problema frecuente en áreas frías. El crecimiento de hielo dentro del hormigón puede provocar fracturas y daños estructurales; sin embargo, la menor permeabilidad hace que el concreto sea menos vulnerable a dicha degradación.(Huang et al., 2021)

En segundo lugar, mitigar la entrada de cloruros y sulfatos disminuye la corrosión del refuerzo de acero, una cuestión vital en infraestructuras como puentes, carreteras y proyectos marítimos. La corrosión del acero produce subproductos en expansión que pueden provocar grietas y degradación del hormigón, afectando así su integridad estructural. El uso de microsílíce y nanosílíce mejora la densificación de la matriz y reduce la permeabilidad, creando así una barrera adicional que impide el avance de la corrosión y extiende la longevidad de la estructura.

### **Análisis comparativo de microsílíce y nanosílíce en la Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto**

Tanto la microsílíce como la nanosílíce disminuyen significativamente la permeabilidad del hormigón; sin embargo, la nanosílíce, debido a su tamaño mucho más pequeño, tiene una capacidad superior para ocupar espacios diminutos y proporcionar una barrera más eficiente contra la entrada de líquidos y gases. La microsílíce, aunque eficaz para disminuir la permeabilidad, funciona principalmente dentro de los poros más grandes, aumentando así la densidad general del compuesto. La nanosílíce, que funciona a



nanoescala, puede impedir los microporos, ofreciendo así una protección mejorada y prolongada. Esto lo convierte en una opción preferida para aplicaciones que requieren una mayor resistencia a productos químicos agresivos, a pesar de su mayor costo en relación con la microsílíce.

### **Evaluación Definitiva**

La adición de microsílíce y nanosílíce al hormigón hidráulico disminuye significativamente la permeabilidad. Los aditivos mejoran la durabilidad del concreto al densificar la matriz y cerrar los poros, protegiéndolo así contra la infiltración de elementos nocivos como agua, cloruros y sulfatos. La nanosílíce, debido a sus dimensiones nanométricas, ofrece una *Cómo los aditivos reducen la permeabilidad del concreto superior en comparación con la microsílíce; sin embargo, ambas adiciones son ventajosas en situaciones que requieren protección contra la corrosión y la degradación química para extender la longevidad de las estructuras.*(Huang et al., 2021)

### **2.2.4.3 Protección química del concreto mediante aditivos avanzados**

#### **Corrosión y resistencia química**

La resistencia a la corrosión y al ataque químico es una propiedad crucial del concreto cuando se usa en ambientes severos, como áreas costeras, ubicaciones industriales o regiones sujetas a exposición al agua salada. La corrosión del acero de refuerzo y el deterioro de la matriz del hormigón debido a sustancias agresivas como cloruros, sulfatos y ácidos ponen en peligro significativamente la integridad estructural de los edificios, reduciendo su vida útil y aumentando los costos de construcción. mantenimiento. El uso de microsílíce y nanosílíce mejora significativamente la resistencia del hormigón a estos factores al densificar la matriz y reducir la permeabilidad del material, limitando así la penetración de agentes corrosivos y químicos agresivos. (Huang et al., 2021)



### **Degradación del refuerzo de acero**

El deterioro del acero de refuerzo es una preocupación importante en estructuras de hormigón expuestas a cloruros, como puentes, muelles y túneles marinos. Los cloruros pueden penetrar la matriz del hormigón y llegar a las barras de refuerzo, provocando la corrosión del acero. La corrosión produce óxidos de hierro que, a través de la expansión, inducen tensiones internas dentro del concreto, lo que lleva a la formación de fracturas, desconchado de la cubierta de concreto y, en última instancia, falla estructural. (Huang et al., 2021)

El uso de microsílíce reduce significativamente la penetración de cloruros al compactar la matriz del hormigón, creando así una barrera que impide que estos agentes accedan a las barras de refuerzo. La microsílíce mejora la cohesividad y reduce la porosidad del hormigón, obstruyendo así las vías de cloruro, lo que retrasa la corrosión y prolonga.

La nanosílíce mejora la resistencia a la corrosión del acero debido a su tamaño a nanoescala y su alta reactividad. Las partículas de nanosílíce, mucho más pequeñas que las partículas de microsílíce, se infiltran en la matriz del hormigón de forma más eficaz y sellan incluso los huecos más pequeños. Esto establece una barrera más eficaz contra la penetración de cloruros, reduciendo sustancialmente la probabilidad de corrosión del acero de refuerzo. La nanosílíce ofrece una protección superior en condiciones adversas, como la exposición al agua de mar o entornos industriales hostiles, lo que reduce significativamente la tasa de corrosión y disminuye el riesgo de fallas estructurales a largo plazo. (Huang et al., 2021)

### **Ataque químico inducido por sulfato**

El ataque de sulfatos es un problema común en estructuras de concreto expuestas a suelos o agua con altas concentraciones de sulfato. Los sulfatos interactúan con los compuestos del cemento, particularmente con el aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), lo que lleva a la generación de productos expansivos como la etringita. Esta expansión genera tensiones



internas que provocan grietas y deterioro progresivo del hormigón. El ataque de sulfatos puede ser particularmente dañino en ambientes subterráneos, como cimientos o túneles, cuando el concreto está en contacto prolongado con suelos agresivos.

La microsílíce mejora la resistencia del hormigón al ataque de los sulfatos al reducir la permeabilidad de la matriz, limitando así la penetración de los sulfatos. Además, la microsílíce reduce la cantidad de hidróxido de calcio disponible para reaccionar con los sulfatos, disminuyendo así la formación de compuestos expansivos. La microsílíce aumenta la densidad de las estructuras de hormigón y reduce la porosidad, creando una barrera física que disminuye el daño causado por la exposición química.

La nanosílíce mejora la resistencia a los sulfatos al cerrar los microporos y aumentar la cohesión interna del concreto. Las partículas de nanosílíce interactúan rápidamente con el hidróxido de calcio para producir más C-S-H, mejorando así la matriz cementosa y reduciendo las vías de infiltración de sulfato. El concreto tratado con nanosílíce tiene una resistencia mejorada a la expansión interna causada por el ataque de sulfatos, lo que lo hace apropiado para su uso en ambientes con exposición prolongada a suelos o agua agresivos. (Huang et al., 2021)

#### **Resistencia a ácidos y diversos productos químicos.**

Los ataques con ácido representan un desafío considerable para el concreto en aplicaciones industriales, instalaciones de tratamiento de agua o entornos donde el concreto está expuesto a ácidos corrosivos. Los ácidos reaccionan con los componentes alcalinos del cemento, disolviendo el hidróxido de calcio y otras sustancias cementosas, debilitando así la matriz del hormigón y provocando su deterioro. La resistencia del hormigón a los ácidos suele estar restringida; sin embargo, la adición de microsílíce y nanosílíce mejora esta resistencia al compactar la estructura y reducir la presencia de moléculas reactivas dentro de la matriz del concreto.

La microsílíce promueve el desarrollo de C-S-H al tiempo que reduce los niveles de hidróxido de calcio, disminuyendo así la vulnerabilidad del concreto a los ácidos. La



microsílice aumenta la densidad de la matriz y disminuye la porosidad, restringiendo así la infiltración ácida y la degradación de los elementos del hormigón. Esto mejora la resistencia a la erosión química y extiende la durabilidad de las estructuras expuestas a ambientes ácidos.

La nanosílice, debido a su alta reactividad y capacidad para llenar huecos diminutos, ofrece una resistencia mejorada a los ácidos. La nanosílice reduce la vulnerabilidad del hormigón a la degradación química al reaccionar rápidamente con el hidróxido de calcio para formar una matriz más compacta. Esto es especialmente vital en contextos donde el hormigón está a menudo o en ocasiones expuesto a ácidos corrosivos, como en industrias químicas, instalaciones de tratamiento de aguas residuales o plantas petroquímicas.

### **Beneficios prácticos de la corrosión y la resistencia química**

La incorporación de microsílice y nanosílice mejora la resistencia a la corrosión y al ataque químico, lo que genera considerables beneficios prácticos. Estos aditivos mejoran la longevidad de las estructuras de hormigón al minimizar la penetración de cloruros y sulfatos, reduciendo así la necesidad de reparaciones y mantenimiento importantes. Esto es particularmente esencial en infraestructura crítica, como puentes, carreteras e instalaciones industriales, donde la exposición a condiciones climáticas extremas es inevitable. (Huang et al., 2021)

Además, la mayor resistencia al ataque químico hace que el hormigón tratado con estos aditivos sea más adecuado para aplicaciones que requieren durabilidad contra productos químicos corrosivos, como ácidos y agentes industriales cáusticos. Esto amplía el uso del hormigón en muchos proyectos, como plantas de tratamiento de agua, complejos industriales y estructuras marinas.

### **Evaluación concluyente**

La corrosión y la resistencia química son características esenciales del hormigón en situaciones adversas. El uso de microsílice y nanosílice mejora significativamente la

resistencia al compactar la matriz del concreto, reducir la permeabilidad y limitar la penetración de sustancias nocivas como cloruros, sulfatos y ácidos. La microsílíce brinda una protección significativa en muchas aplicaciones, mientras que la nanosílíce brinda una protección mejorada al sellar eficientemente pequeños huecos y mejorar la cohesión interna del concreto. Ambas son opciones efectivas para extender la longevidad de las estructuras y garantizar un funcionamiento confiable en condiciones químicamente adversas. (Huang et al., 2021)

### **2.2.5 *Microsílíce y nanosílíce en obras de ingeniería crítica***

La microsílíce y la nanosílíce son añadidos imprescindibles en el sector de la construcción, ya que potencian notablemente las características del hormigón hidráulico. Estos aditivos mejoran la resistencia mecánica, disminuyen la permeabilidad y mejoran la durabilidad, lo que los hace adecuados para muchas aplicaciones, incluidas infraestructuras críticas y proyectos específicos que requieren concreto de alto rendimiento. Los usos principales de la microsílíce y la nanosílíce en la construcción se enumeran a continuación.

#### **Infraestructura de transporte**

La infraestructura de transporte, incluidos puentes, túneles, carreteras y aeropuertos, necesita hormigón duradero y de alta resistencia para soportar cargas sustanciales y reducir la degradación causada por la exposición ambiental. La microsílíce se utiliza a menudo en estas construcciones ya que mejora la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad, protegiendo así el hormigón contra la penetración de cloruro, especialmente en puentes sujetos a sales de deshielo y condiciones costeras. La microsílíce mejora la durabilidad del hormigón frente a los ciclos de hielo y deshielo, algo fundamental en zonas frías.

La nanosílíce mejora el refinamiento microestructural y reduce significativamente la permeabilidad, lo que la hace adecuada para aplicaciones que exigen un rendimiento



excepcional, como túneles submarinos o infraestructuras en entornos extremadamente corrosivos. La nanosílice mejora la resistencia a la corrosión del concreto y aumenta la capacidad de la estructura para soportar tensiones dinámicas, lo que la convierte en una adición óptima para proyectos de transporte extensos.(Huang et al., 2021)

### **Iniciativas Marítimas y Operaciones Hidráulicas**

En proyectos marítimos y estructuras hidráulicas, incluidos muelles, rompeolas, canales y presas, el hormigón está perpetuamente expuesto al agua y, a menudo, es susceptible a las influencias corrosivas de los cloruros y sulfatos que se encuentran en entornos salados. En estas aplicaciones, la microsílice es esencial para mejorar la resistencia a la penetración de cloruros y, por tanto, mitigar la corrosión del acero de refuerzo. Mejorar la densidad y disminuir la permeabilidad de la matriz de hormigón es crucial para la longevidad de las estructuras costeras, ya que la exposición al agua de mar y los ciclos de inmersión y secado pueden provocar una rápida degradación.(Pancca Pacompia, 2022)

La nanosílice se utiliza en aplicaciones marinas y proyectos hidráulicos de alto rendimiento, como túneles submarinos y grandes represas, debido a su capacidad para sellar aberturas diminutas y proporcionar una barrera más eficiente contra la infiltración de agua y productos químicos. La nanosílice mejora la resistencia del concreto a la expansión causada por reacciones químicas internas, incluida la reacción álcali-agregado, lo que lo hace particularmente ventajoso en situaciones con concentraciones elevadas de sal y agentes agresivos.

### **Construcción de edificios de gran altura y estructuras extensas**

Los edificios elevados y las construcciones sustanciales, incluidos los rascacielos, necesitan hormigón de alta resistencia para soportar las considerables presiones ejercidas sobre sus cimientos y componentes estructurales. La microsílice se utiliza en estos proyectos para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón, facilitando la construcción de estructuras esbeltas sin sacrificar la estabilidad. La microsílice mejora la



longevidad del hormigón al disminuir su porosidad, lo que permite que las construcciones resistan las condiciones climáticas durante décadas. (Pancca Pacompia, 2022)

La nanosílice mejora la resistencia mecánica y la durabilidad, lo que la hace esencial para aplicaciones de concreto de ultra alto rendimiento (UHPC) que necesitan una resistencia excepcional a la compresión y a la flexión. La nanosílice mejora el diseño de estructuras más eficientes en rascacielos y puentes enormes al minimizar el uso de material, disminuyendo así el peso y los costos totales de construcción, donde la resistencia y la durabilidad son primordiales. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Pisos industriales y tecnologías avanzadas de superficies**

Los pisos industriales y de alto rendimiento, utilizados en almacenes, aeropuertos, zonas de alto tráfico y otras industrias, soportan cargas dinámicas y desgaste continuo. La microsílice se incluye en el hormigón para mejorar la resistencia a la compresión y la abrasión, prolongando así la vida útil de los pavimentos y minimizando la necesidad de reparaciones periódicas. Minimizar la permeabilidad es ventajoso en entornos industriales donde el concreto está sujeto a productos químicos, lubricantes y otros contaminantes.

La nanosílice se utiliza en pisos de alto rendimiento por su capacidad para mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad, particularmente en aplicaciones que exigen una mayor resistencia al impacto y la abrasión. La nanosílice mejora la durabilidad de las superficies en almacenes y fábricas sometidas a un alto tráfico de maquinaria, permitiéndoles soportar un desgaste prolongado sin degradación, preservando así la continuidad operativa y reduciendo los gastos de mantenimiento. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Instalaciones de tratamiento de agua e iniciativas industriales.**

El concreto en instalaciones de tratamiento de agua y muchos usos industriales resiste condiciones extremadamente corrosivas causadas por químicos, ácidos y contaminantes fuertes. La microsílice se utiliza ampliamente en estas aplicaciones por su potencial para mejorar la impermeabilidad y aumentar la resistencia química del hormigón.



En las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, donde el hormigón está constantemente expuesto a productos químicos y efluentes, la microsílíce proporciona una defensa mejorada contra la erosión química y la degradación por corrosión.

La nanosílíce se utiliza en entornos industriales de alto riesgo, como instalaciones petroquímicas o refinerías, donde el hormigón está expuesto a sustancias químicas muy hostiles. La nanosílíce mejora la densidad de la matriz de hormigón y reduce la permeabilidad a nanoescala, ofreciendo una mayor protección contra la corrosión y la degradación química, prolongando así la vida útil de las estructuras industriales y mitigando el peligro de un colapso prematuro. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Sistemas de infraestructura esenciales**

La infraestructura crítica, incluidas las plantas de energía nuclear, las instalaciones de producción de energía, los vertederos de desechos peligrosos y otros activos de seguridad nacional, necesitan concreto de alta calidad para garantizar la seguridad y durabilidad a largo plazo. En estas aplicaciones se utilizan microsílíce y nanosílíce para mejorar las cualidades mecánicas y la longevidad del hormigón, garantizando que las construcciones soporten condiciones extremas sin deterioro. Es esencial contar con protecciones mejoradas contra la corrosión, los ataques químicos y la entrada de agua en estos sitios, donde cualquier falla podría tener graves repercusiones. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Construcción sostenible y reducción de emisiones de carbono**

En última instancia, tanto la microsílíce como la nanosílíce mejoran significativamente la construcción sostenible al facilitar la producción de hormigón con una durabilidad y resistencia superiores, reduciendo así la necesidad de mantenimiento y reparación durante la vida útil de la estructura. Estos aditivos mejoran la eficiencia del concreto y disminuyen el uso de materiales para lograr un mejor rendimiento, reduciendo así la huella de carbono de los proyectos de construcción. La nanosílíce mejora el rendimiento con cantidades mínimas de aditivos, facilitando la creación de hormigones de



impacto ambiental ultrabajo y ayudando a alcanzar los objetivos de sostenibilidad dentro de la industria de la construcción. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Evaluación Definitiva**

La microsílíce y la nanosílíce tienen varios usos en la construcción, particularmente en infraestructura esencial y proyectos especiales que requieren concreto de alto rendimiento. La microsílíce mejora la resistencia y la durabilidad en muchas aplicaciones, mientras que la nanosílíce proporciona ventajas adicionales en refinamiento microestructural, resistencia química y resiliencia excepcional en condiciones difíciles. Ambos son instrumentos esenciales para abordar las dificultades constructivas contemporáneas y garantizar la durabilidad y eficacia de las estructuras en el tiempo.

#### **2.2.5.1 Aditivos avanzados en construcciones resistentes**

Incluidas plantas de energía, represas, instalaciones nucleares, aeropuertos, sistemas de tratamiento de agua y ubicaciones militares. Estas infraestructuras necesitan materiales de construcción que proporcionen una durabilidad superior, resistencia a entornos severos y seguridad a largo plazo, ya que cualquier falla podría tener repercusiones desastrosas. La microsílíce y la nanosílíce son componentes críticos del hormigón para el desarrollo de infraestructura, ya que mejoran la resistencia, durabilidad y protección contra agentes químicos y físicos. (Pancca Pacompia, 2022)

#### **Centrales nucleares**

La construcción de centrales nucleares requiere hormigón que sea seguro y duradero para contener materiales radiactivos y soportar circunstancias extremas. La microsílíce se utiliza ampliamente para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón y aumentar su resistencia a la infiltración de sustancias corrosivas, incluidos cloruros y sulfatos. Además, la menor permeabilidad que proporciona la microsílíce garantiza que los elementos estructurales de las centrales nucleares puedan resistir la intrusión de agua y otras sustancias que puedan poner en peligro su integridad.



La nanosílice mejora la densidad de la matriz del hormigón y disminuye los microporos, lo que la hace adecuada para regiones esenciales de las centrales nucleares, como cámaras de contención de materiales radiactivos, donde la resistencia a la corrosión y la protección contra agentes agresivos son cruciales. La nanosílice mejora la resistencia del hormigón a la radiación, reduciendo así el impacto de la exposición prolongada a sustancias radiactivas. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Instalaciones de producción de energía**

Las centrales eléctricas, en particular las instalaciones de producción eléctrica, son infraestructuras esenciales que necesitan materiales capaces de soportar circunstancias adversas, como altas temperaturas, humedad persistente y exposición a productos químicos industriales. La microsílice se utiliza en estas aplicaciones. La microsílice reduce la permeabilidad del hormigón, mejorando así la longevidad de los edificios sometidos a contacto continuo con agua o agentes corrosivos.

La nanosílice mejora la resistencia al deterioro térmico en plantas de energía geotérmica o entornos donde el concreto experimenta fluctuaciones de temperatura significativas. Su capacidad para mejorar la cohesión interna del hormigón y mitigar la expansión y contracción debido a las fluctuaciones de temperatura ayuda a prevenir la aparición de fracturas y otras fallas estructurales que podrían poner en peligro las operaciones de la planta. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Represas y principales estructuras hidráulicas**

Las represas y otras estructuras hidráulicas importantes son infraestructuras esenciales que deben soportar presiones hidrostáticas sustanciales mientras están perpetuamente expuestas al agua, lo que puede provocar un deterioro debido a agresiones químicas, incluidos los sulfatos que se encuentran en el agua. La microsílice es crucial en estos proyectos ya que mejora la resistencia a la compresión del hormigón y disminuye su permeabilidad, salvaguardando así la estructura contra la infiltración de agua y los efectos de agentes corrosivos. (Pancca Pacompia, 2022)



En escenarios en los que las represas experimentan rápidas fluctuaciones en los niveles de agua o encuentran corrientes vigorosas, la nanosílice mejora la seguridad al establecer una barrera más eficiente contra la infiltración de líquidos. Esto es particularmente significativo en infraestructuras extensas, donde la integridad estructural duradera es esencial. La nanosílice mejora la durabilidad del hormigón frente a los ciclos de congelación y descongelación, algo esencial en zonas frías.

### **Aeropuertos y Pistas**

Los aeropuertos y sus pistas son activos esenciales expuestos a un tráfico elevado y continuo, cargas variables y condiciones climáticas adversas. En estas construcciones, la resistencia a la compresión, la resistencia a la abrasión y la resistencia al impacto son fundamentales. La microsílice se utiliza en pavimentos de aeropuertos y componentes estructurales para mejorar la resistencia del concreto, disminuir la permeabilidad y proteger las pistas de los efectos del agua y los productos químicos, incluidos los agentes descongelantes empleados en áreas frías.

La nanosílice se utiliza en pistas y zonas de alto tráfico, incluidos los espacios de estacionamiento de aviones. La nanosílice mejora la densidad del hormigón y su resistencia a la abrasión y al impacto, permitiendo que los pavimentos soporten el tráfico aéreo continuo sin degradación prematura. Además, su capacidad para mejorar la resistencia del hormigón a sustancias corrosivas lo hace adecuado para regiones propensas a derrames de combustible y productos químicos.

### **Sistemas de Gestión de Agua y Residuos**

Las instalaciones de tratamiento de agua y los sistemas de gestión de residuos peligrosos son infraestructuras esenciales cuando el hormigón se somete a condiciones extremadamente corrosivas, incluidos productos químicos agresivos, aguas residuales y ácidos. La microsílice se utiliza en estos proyectos por su capacidad para mejorar la resistencia química del concreto, disminuir su permeabilidad y protegerlo de la erosión debido a la exposición prolongada a agua contaminada y sustancias agresivas.



La nanosílice se utiliza en componentes esenciales de estas instalaciones, incluidos tanques de almacenamiento, digestores y regiones donde los desechos peligrosos interactúan inmediatamente con el concreto, debido a su capacidad excepcional para prevenir la infiltración de químicos y líquidos corrosivos. La integración de nanosílice en la matriz de hormigón mejora su densificación, permitiendo que estas estructuras resistan los efectos de agentes químicos hostiles durante períodos prolongados sin un deterioro prematuro. (Pancca Pacompia, 2022)

### **Instalaciones para el Almacenamiento de Residuos Radiactivos**

Los vertederos de desechos radiactivos necesitan materiales estructurales que proporcionen una importante protección contra la radiación e inhiban la infiltración de líquidos. En estas situaciones, la microsílice mejora la durabilidad del hormigón y aumenta su resistencia a la infiltración de agua, reduciendo así la probabilidad de fugas en los contenedores de residuos radiactivos.

La nanosílice mejora la protección en estas aplicaciones al sellar los microporos del hormigón, disminuyendo así la probabilidad de fugas y creando una barrera más eficiente contra la radiación. La nanosílice ofrece una resistencia excepcional en bóvedas destinadas a la preservación a largo plazo, que abarca décadas o siglos, salvaguardando así los desechos radiactivos.

### **Evaluación Definitiva**

El uso de microsílice y nanosílice en infraestructura vital garantiza la seguridad, durabilidad y resiliencia de las estructuras necesarias para el funcionamiento social. La incorporación de estos compuestos mejora la resistencia del hormigón en circunstancias extremas, lo protege de agentes nocivos y preserva su integridad estructural a lo largo del tiempo en centrales nucleares, instalaciones energéticas, represas y aeropuertos. La microsílice mejora la resistencia a la compresión y la durabilidad, mientras que la nanosílice ofrece una resistencia excepcional a la corrosión y al ataque químico, lo que los convierte



en materiales esenciales para el desarrollo de importantes infraestructuras en el siglo XX. Veintiuno. (Pancca Pacompia, 2022)

### **2.2.5.2 Beneficios económicos del uso de aditivos en el concreto**

El uso de microsílíce y nanosílíce en la industria de la construcción mejora las propiedades del hormigón y contribuye a la viabilidad económica y sostenibilidad de los proyectos. Estos aditivos mejoran el rendimiento del hormigón, permitiendo la construcción de edificios más eficientes, duraderos y con menor impacto ambiental durante todo su ciclo de vida. Las consideraciones económicas y de sostenibilidad relacionadas con el uso de estos materiales se detallan a continuación.

#### **Reducción de Costos de Mantenimiento y Reparación**

El principal beneficio económico del uso de microsílíce y nanosílíce es la reducción de los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo. Estos aditivos aumentan la durabilidad y resistencia del hormigón, extendiendo así la vida útil de las estructuras y reduciendo la necesidad de reparaciones frecuentes. Mejorar la resiliencia del hormigón a la corrosión del acero de refuerzo y a los ataques químicos de cloruros y sulfatos mitiga el deterioro prematuro de la infraestructura expuesta a circunstancias severas, como puentes, túneles y edificios industriales. Esto genera importantes ahorros, ya que las reparaciones y el mantenimiento de grandes estructuras suelen ser costosos y perjudiciales. (Olivares Guzmán & Urbina Silva, 2023)

La mayor durabilidad del hormigón de microsílíce y nanosílíce en infraestructuras públicas, como carreteras y puentes, genera menos interrupciones en el tráfico y menores costos de mantenimiento continuo. Esto mejora la economía local al reducir el tiempo de inactividad y los costos asociados con la restauración de la infraestructura crítica.

#### **Optimización de la utilización de materiales**

Un impacto económico notable es la mejora del uso de materiales. La microsílíce y la nanosílíce mejoran significativamente la resistencia a la compresión del hormigón,



permitiendo la construcción de estructuras más delgadas y ligeras sin comprometer la capacidad de carga. Esto es especialmente vital en la construcción de rascacielos, puentes y otras infraestructuras de gran escala, ya que reducir el uso de concreto puede disminuir significativamente los costos de materiales. El uso de estos aditivos mejora la resistencia y, por lo tanto, reduce el volumen total de concreto necesario para soportar cargas iguales, lo que impacta positivamente los costos de envío y manipulación. (Olivares Guzmán & Urbina Silva, 2023)

La utilización de nanosílice en la producción de hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) mejora notablemente los beneficios económicos al facilitar la construcción de estructuras de alto rendimiento con un menor consumo de material. Esto reduce así la huella de carbono asociada con la producción y transporte de cemento y áridos, lo que es directamente relevante para la sostenibilidad del proyecto.

### **Ampliación de la durabilidad estructural**

El potencial de la microsílice y la nanosílice para mejorar la durabilidad del hormigón afecta significativamente la vida útil de las estructuras. Las infraestructuras, como puentes, carreteras, centrales eléctricas y edificios, soportan ciclos de carga, exposición a agentes corrosivos y condiciones ambientales severas que, en ausencia de una protección adecuada, pueden provocar rápidamente una degradación. El uso de estos productos químicos permite que las estructuras fabricadas con hormigón tratado alcancen una durabilidad notablemente mayor, reduciendo así la necesidad de renovación frecuente de la infraestructura.

El aumento de la vida útil no sólo genera importantes ahorros económicos, sino que también reduce la necesidad de recursos naturales, como cemento y áridos, asociados a la producción de hormigón. La prolongación de la vida útil de las estructuras reduce el impacto ambiental vinculado a la extracción de materias primas y el consumo energético involucrado en la fabricación de materiales de construcción.



### **Reducción de la Huella de Carbono**

Un desafío clave para la industria de la construcción es reducir la huella de carbono asociada con la producción de cemento, una fuente principal de emisiones mundiales de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). La producción de cemento consume mucha energía y produce importantes emisiones de  $\text{CO}_2$ . El uso de microsílíce y nanosílíce mitiga este problema al reducir la cantidad de cemento necesaria para lograr una resistencia y durabilidad comparables en el concreto.

La microsílíce es un subproducto industrial que mejora las propiedades del hormigón y facilita la recuperación y reutilización de residuos industriales que de otro modo podrían enviarse a vertederos. Esto promueve un enfoque más sostenible de la construcción. Además, extender la longevidad de las estructuras reduce la necesidad de demolición y reconstrucción, disminuyendo así las emisiones relacionadas con la fabricación y el transporte de nuevos materiales de construcción.

La nanosílíce, debido a su alta reactividad, permite mejoras comparables en resistencia y durabilidad con una menor cantidad de aditivo, lo que la convierte en una opción sostenible para proyectos centrados en optimizar la utilización de recursos y el rendimiento. Aunque implica un gasto inicial más alto, la capacidad de la nanosílíce para reducir el uso general de cemento y mejorar la durabilidad de la infraestructura la convierte en una opción financieramente beneficiosa y ambientalmente sostenible para proyectos a largo plazo.

### **Impacto en la Economía Circular y la Gestión de Residuos**

El uso de microsílíce, un subproducto de la producción de ferrosilicio, en la industria del hormigón muestra la implementación de principios de economía circular en la construcción. La integración de esta producción industrial en la fabricación de hormigón contribuye a la reducción de residuos industriales.

La mayor durabilidad del hormigón tratado con microsílíce y nanosílíce ayuda en la gestión de residuos al disminuir la necesidad de reemplazo de infraestructura, reduciendo

así los desechos y desechos de construcción. Esto mejora la gestión de residuos en proyectos de construcción y reduce la dependencia de los vertederos.

### **Ventajas duraderas**

El uso de microsílíce y nanosílíce en el concreto puede incrementar los costos iniciales del proyecto debido al precio de estas adiciones; sin embargo, los beneficios a largo plazo superan con creces esta inversión. La reducción de los costos de mantenimiento, la extensión de la longevidad de las estructuras y la mejora de la sostenibilidad del proyecto compensaron el aumento de la inversión inicial. Además, el impacto ventajoso en la resistencia de la infraestructura a las duras condiciones climáticas, los ataques químicos y la corrosión da como resultado estructuras más seguras y eficientes con el tiempo, lo cual es crucial para las empresas públicas y comerciales que buscan mitigar el riesgo de falla estructural. (Olivares Guzmán & Urbina Silva, 2023)

### **Evaluación concluyente**

El uso de microsílíce y nanosílíce en la construcción proporciona importantes ventajas económicas al reducir los costos de mantenimiento, mejorar la eficiencia de los materiales y prolongar la durabilidad de las estructuras. Además, desde una perspectiva de sostenibilidad, estos aditivos reducen la huella de carbono de los proyectos de construcción al minimizar la necesidad de cemento y utilizar residuos industriales como la microsílíce. Estos aditivos mejoran las prestaciones técnicas del hormigón, haciendo así que los proyectos de construcción sean más económicos y medioambientalmente sostenibles en el tiempo.

## **2.3 Marco conceptual**

### **2.3.1. Aditivos**

Los aditivos son compuestos químicos o minerales que se agregan al concreto en proporciones relativamente pequeñas, con el objetivo de modificar sus propiedades físicas y químicas. Su incorporación puede influir en una amplia gama de características del

concreto, tales como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia mecánica, la durabilidad y la resistencia a condiciones ambientales extremas. Los aditivos permiten personalizar la mezcla de concreto para adaptarla a las necesidades específicas de cada proyecto, mejorando su rendimiento y facilitando su colocación en diversas condiciones. Entre los aditivos más comunes se encuentran los superplastificantes, reductores de agua, acelerantes y retardantes de fraguado, así como aquellos que mejoran la impermeabilidad y la resistencia química. (Aparicio & Andrés, 2020)

### **2.3.2. Micro sílice**

La microsílíce, también conocida como humo de sílice, es un subproducto industrial generado durante la fabricación de ferrosilicio y aleaciones de silicio. Se compone de partículas extremadamente finas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), que tienen un tamaño mucho menor que las partículas de cemento convencional. Al añadir microsílíce a la mezcla de concreto, se produce una notable mejora en su resistencia a la compresión, ya que estas partículas ultrafinas rellenan los vacíos en la matriz del cemento, lo que resulta en un material más denso y menos poroso. Además, la microsílíce mejora la durabilidad del concreto al reducir su permeabilidad, lo que lo hace más resistente a la penetración de cloruros, sulfatos y otros agentes agresivos que pueden deteriorar la estructura con el tiempo. Es comúnmente utilizada en infraestructuras críticas, como puentes y túneles, donde se requiere una resistencia adicional frente a entornos agresivos. (Cruzado de la Cruz & Rivera Chuñe, 2019)

### **2.3.3. Nano sílice**

La nanosílíce es una versión más avanzada del dióxido de silicio, cuyas partículas son mucho más pequeñas que las de la microsílíce, con un tamaño en el rango de los nanómetros. Estas diminutas partículas tienen una mayor superficie específica y, por tanto, una reactividad más alta en la mezcla de concreto. Al añadirse, la nanosílíce mejora aún



más la resistencia y la durabilidad del concreto, actuando a nivel microscópico para densificar la matriz y reducir la porosidad de manera significativa. Esto se traduce en una mayor resistencia a la compresión y una protección superior contra la corrosión y el ataque químico. Gracias a sus propiedades únicas, la nanosílice es ideal para aplicaciones que requieren un concreto de alto rendimiento, como infraestructuras marinas, plantas industriales y construcciones de alta resistencia sometidas a condiciones extremas. (Estupiñan & Caballero, 2020)

#### **2.3.4. Curado**

El curado es una fase crítica en el proceso de endurecimiento del concreto, asegurando que el material mantenga suficiente humedad y temperatura para completar exitosamente la hidratación del cemento. Este proceso afecta directamente las cualidades mecánicas y la durabilidad del concreto, ya que una hidratación inadecuada puede provocar grietas y disminuir su resistencia. Se utilizan diversas técnicas de curado, incluyendo agua, membranas impermeables o agentes químicos, según las especificaciones del proyecto. (Pérez & Fernando, 2016)

#### **2.3.5. Concreto hidráulico**

El hormigón hidráulico es un material de construcción fundamental, compuesto por cemento hidráulico (como el Portland), agua, áridos (arena y grava) y, ocasionalmente, aditivos que alteran sus propiedades. La característica principal es su capacidad de endurecer tanto en ambientes húmedos como bajo el agua, debido a las reacciones químicas entre el cemento y el agua. Se utiliza ampliamente en infraestructura, incluidos puentes, canales, presas y pavimentos, debido a su notable resiliencia y longevidad. (Shimokawa & Antonio, 2020)



### **2.3.6. Diseño de mezclas**

El diseño de mezclas es el proceso sistemático de determinar las cantidades ideales de componentes del concreto (cemento, agua, agregados y aditivos) para lograr las características deseadas, incluyendo trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad. Este diseño se ejecuta teniendo en cuenta las características del proyecto, abarcando cargas estructurales y factores ambientales. Un diseño adecuado garantiza la viabilidad económica del hormigón y el cumplimiento de los estándares técnicos necesarios. (Amorós Morote & Bendezú Ulloa, 2019)

### **2.3.7. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica crítica del hormigón, que evalúa su capacidad para soportar cargas axiales sin fallar. Esta característica se evalúa mediante ensayos estandarizados, cuando se ejerce una tensión progresiva sobre muestras cilíndricas o cúbicas hasta que se produce la falla. Las mediciones de la resistencia a la compresión son cruciales para evaluar la calidad del hormigón y garantizar su seguridad en aplicaciones estructurales. La resistencia a menudo se evalúa a los 7, 14 y 28 días, sirviendo este último como punto de referencia para evaluar su desempeño final. (Barboza et al., 2021)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

El diseño de investigación es el marco metodológico que delinea la ejecución de un estudio para abordar las preguntas planteadas o validar las hipótesis formuladas. Este diseño ordena sistemáticamente las fases de recolección, análisis y evaluación de datos, garantizando la alineación entre los objetivos del estudio y las metodologías elegidas. El diseño de estudios experimentales implica la modificación de variables dentro de condiciones controladas para examinar su impacto en los resultados, facilitando así el establecimiento de vínculos causales. Este método garantiza la precisión y relevancia de los datos obtenidos, mejorando así el análisis y la interpretación de los resultados para obtener conclusiones significativas y apropiadas. (Amorós Morote & Bendezú Ulloa, 2019)

El diseño de la investigación es cuasi-experimental. Esto implica la manipulación de una variable independiente (la incorporación de estos aditivos) y la observación de sus efectos en las propiedades mecánicas y físicas del concreto, pero sin un control absoluto sobre todas las variables externas. Se realizarán pruebas comparativas entre mezclas de concreto con y sin los aditivos, midiendo su resistencia a la compresión, permeabilidad y durabilidad, entre otras propiedades, para analizar los efectos directos de los aditivos.

### 3.2 Método de la investigación

La técnica de investigación es un marco sistemático que dirige la recopilación y el examen de datos. Los estudios cuantitativos emplean instrumentos y metodologías para recopilar datos numéricos objetivos, que posteriormente son procesados y analizados mediante procedimientos estadísticos. Esta metodología garantiza la precisión y confiabilidad de los resultados, facilitando la evaluación de patrones, correlaciones y efectos entre variables. La técnica cuantitativa permite la comparación de resultados, la reproducibilidad de los estudios y la generalización de conclusiones, lo que la convierte en un instrumento esencial para investigaciones encaminadas a apoyar decisiones o validar hipótesis. (Reyes, 2022)

El método de investigación es cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos obtenidos a partir de ensayos físicos y mecánicos sobre muestras de concreto. A través de pruebas de laboratorio, se medirá de forma objetiva el comportamiento de las propiedades del concreto modificado con microsílíce y nanosílíce. Este enfoque permite la aplicación de técnicas estadísticas que validarán las diferencias significativas entre las mezclas de concreto, proporcionando resultados precisos y replicables, lo que es fundamental para establecer relaciones cuantitativas entre los aditivos y las propiedades del material.

### 3.3 Nivel y tipo de la investigación

#### 3.3.1 Nivel de la investigación

El nivel de investigación denota el grado en que se explora el fenómeno que se examina. En el nivel explicativo, nuestro objetivo no sólo es describir los sucesos, sino también discernir las causas y efectos fundamentales que producen los fenómenos. Este nivel requiere una investigación exhaustiva de las interrelaciones entre variables y facilita el desarrollo de modelos teóricos que dilucidan los fenómenos observados. Es óptimo para esfuerzos de investigación que buscan producir información práctica y abordar cuestiones



complejas, ya que ofrece una comprensión más profunda y organizada del tema. (Reyes, 2022)

El nivel de la investigación es de tipo explicativo, ya que su principal objetivo es determinar las causas y los efectos de la adición de Modificadores químicos en el concreto hidráulico. Se busca explicar cómo y por qué las dispersiones de microsílíce y nanosílíce influyen en las propiedades del concreto, como la resistencia a la compresión y la permeabilidad, mediante la experimentación y el análisis de los resultados. Este nivel de investigación no solo describe los cambios observados, sino que intenta comprender los mecanismos subyacentes que explican los efectos de los aditivos.

### **3.3.2 Tipo de la investigación**

La clasificación de la investigación categoriza el estudio en función de su objetivo. La investigación aplicada se concentra en abordar cuestiones prácticas o mejorar procesos específicos, produciendo información que puede utilizarse directamente en contextos del mundo real. Este estudio tiene como objetivo comprender los sucesos y al mismo tiempo proponer soluciones novedosas o mejoras a los procedimientos establecidos. En el sector de la construcción, esto puede implicar la optimización de materiales para mejorar su rendimiento y sostenibilidad. (Gomez Rojas, 2020)

El tipo de investigación es aplicada, dado que los conocimientos generados a partir del estudio tienen una finalidad práctica y directa, específicamente en la mejora de la calidad del concreto utilizado en la construcción. Los resultados de esta investigación se enfocarán en resolver un problema concreto, que es optimizar las características del concreto hidráulico mediante el uso de aditivos, aportando beneficios tangibles a la industria de la construcción en la región de San Román, con implicaciones técnicas y económicas para futuros proyectos de infraestructura.

### 3.4 Población y muestra de la investigación

#### 3.4.1 Población

La población comprende la totalidad de elementos, fenómenos o individuos que comparten rasgos comunes y que son el foco de examen en la investigación. En la investigación experimental, la población abarca todas las combinaciones imaginables de mezclas o materiales que pueden examinarse para evaluar cualidades mecánicas o físicas. Comprender las características de la población nos permite definir los parámetros del estudio y desarrollar criterios explícitos para seleccionar muestras representativas. (Ojeda, 2020)

La población está constituida por todas las mezclas de concreto hidráulico que se utilizan o podrían utilizarse en proyectos de construcción en la Provincia de San Román. Este conjunto incluye diferentes tipos de concreto que podrían ser mejorados mediante la incorporación de aditivos de microsílíce y nanosílíce. La investigación se enfocará en este amplio espectro de posibles variaciones en la composición del concreto, que son comunes en la región y relevantes para las condiciones específicas de los proyectos locales.

#### Figura 2

*Representación cartográfica de la provincia*



### 3.4.2 Muestra

La muestra es un subconjunto representativo de la población elegida para el estudio. En la investigación experimental, la muestra se elabora meticulosamente para representar con precisión las características primarias de la población, facilitando la extrapolación de los resultados obtenidos. En la investigación sobre materiales de construcción, la muestra puede consistir en un cierto número de especímenes sometidos a evaluaciones controladas de resistencia, durabilidad o trabajabilidad. La selección y el tamaño de la muestra son fundamentales para asegurar la validez estadística de los resultados y reducir errores en las conclusiones del estudio. (Ojeda, 2020)

La muestra de estudio consistirá en muestras de concreto preparadas en laboratorio con y sin la adición de aditivos de microsílíce y nanosílíce, bajo diferentes proporciones y condiciones de mezcla. Se seleccionarán varias series de muestras que representen una variedad de relaciones agua-cemento y diferentes cantidades de aditivos, lo que permitirá realizar comparaciones significativas. Cada serie será sometida a pruebas estandarizadas de resistencia y durabilidad, lo que garantizará que los resultados obtenidos sean representativos y permitan generalizar conclusiones aplicables a una mayor escala.

La muestra para este estudio se obtendrá de:

- Muestra de concreto base
- Muestra de concreto base + 3% de micro sílice
- Muestra de concreto base + 5% de micro sílice
- Muestra de concreto base + 3% nano sílice
- Muestra de concreto base + 5% nano sílice

MS = Aditivo nano sílice

NS = aditivo micro sílice

Tabla 3

*Total de muestras utilizadas en pruebas de compresión*

Muestra	Número de probetas por ensayo			Total
	7 días	14 días	28 días	
MC	5	5	5	15
MC + 3% MS	5	5	5	15
MC + 5% MS	5	5	5	15
MC + 3% NS	5	5	5	15
MC + 5% NS	5	5	5	15
Total	25	25	25	75

### 3.5 Técnicas e instrumentos

#### 3.5.1 Técnicas

Las técnicas son procedimientos y métodos sistemáticos que facilitan el logro de objetivos definidos mediante la aplicación metódica de información y habilidades. Estas metodologías buscan optimizar recursos y mejorar la eficiencia en diversas actividades, facilitando así el logro de los resultados definidos. En cada materia o profesión, los procedimientos son esenciales para estandarizar procesos, minimizar errores y mejorar la precisión en la ejecución de tareas. Medina et al. (2023)

Desde un punto de vista tecnológico, los métodos se formulan como herramientas operativas que regulan y organizan acciones de acuerdo con principios establecidos, facilitando la ejecución eficiente de tareas por parte de un humano o una máquina. En este sentido, funcionan como patrones de acción o protocolos que guían los procesos hacia una conclusión óptima. Estas estrategias amalgaman procesos en contextos complejos y facilitan la adaptabilidad a situaciones dinámicas mediante el uso de criterios precisos, aumentando así su importancia en los campos científico y tecnológico. (Medina et al., 2023)



### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos investigación**

Los instrumentos de recolección de datos son herramientas diseñadas para obtener información de manera sistemática y confiable, facilitando la medición de las variables en estudio y cumpliendo con los objetivos del estudio. Estos dispositivos garantizan la precisión y legitimidad de los datos adquiridos, facilitando así el análisis e interpretación de los resultados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). La selección depende del enfoque metodológico, el tipo de estudio y las características de las variables a analizar.

En la investigación experimental, los instrumentos utilizados son generalmente aparatos o equipos especializados que permiten mediciones cuantitativas. En el análisis de materiales de construcción como el hormigón, las prensas de compresión evalúan la resistencia, los conos de Abrams prueban la homogeneidad (hundimiento) y los aparatos de absorción miden la porosidad. Este equipo requiere validación y calibración para garantizar que las mediciones obtenidas sean precisas y reproducibles (Tamayo & Tamayo, 2017).

La documentación de los datos adquiridos se realiza mediante formatos o registros adaptados a cada tipo de medición. Estos formatos permiten estructurar y sistematizar la información de manera organizada, asegurando la recopilación de todos los datos relevantes para su posterior análisis. La digitalización de registros es una técnica común que facilita la gestión y almacenamiento seguro de la información recopilada (Martínez, 2019).

En conclusión, los dispositivos de recolección de datos son elementos esenciales de la investigación, ya que aseguran la calidad y confiabilidad de los datos obtenidos. La correcta selección, validación y aplicación permiten capturar datos precisos que respaldan el logro de los objetivos definidos y la validez de las conclusiones del estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Tamayo & Tamayo, 2017; Martínez, 2019).



### 3.6 Validación y confiabilidad del instrumento

#### 3.6.1 Validación de los instrumentos

La validación de instrumentos es el proceso de verificar que un instrumento de recopilación de datos mida con precisión la variable especificada. Este método asegura la relevancia y precisión del instrumento al evaluar su capacidad para recopilar datos relevantes para el estudio y alineados con las variables examinadas. Para ello se utilizan diversos métodos, incluido el juicio de expertos, que implica someter el instrumento a una evaluación por parte de profesionales de campo, y pruebas piloto que permiten identificar los ajustes necesarios antes de su implementación final (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La confiabilidad del equipo se refiere a su capacidad para producir datos consistentes y reproducibles. Un instrumento preciso produce datos consistentes bajo configuraciones uniformes, minimizando el error aleatorio. La confiabilidad se evalúa mediante métodos como el coeficiente Alfa de Cronbach, que mide la consistencia interna de los ítems, y test-retest, que compara los resultados obtenidos en diferentes intervalos para verificar su estabilidad (Tamayo & Tamayo, 2017).

En la investigación experimental, especialmente para la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, la validación y confiabilidad de los instrumentos son fundamentales. Equipos como prensas de compresión, conos de Abrams y dispositivos de medición de absorción deben calibrarse periódicamente en laboratorios acreditados para garantizar mediciones precisas. Además, la capacitación del personal encargado de operar estos equipos es crucial para evitar errores en la recolección de datos (Martínez, 2019).

La validación y confiabilidad de los equipos son procesos interconectados que garantizan la calidad de los datos obtenidos. La validación garantiza que el instrumento mida con precisión su variable designada, mientras que la confiabilidad garantiza que las mediciones sean consistentes y reproducibles. Ambos componentes son cruciales para la



validez y el rigor de cualquier investigación (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Tamayo & Tamayo, 2017; Martínez, 2019).

### **3.6.2 Confiabilidad de instrumentos**

La confiabilidad de los instrumentos se refiere a su capacidad para producir resultados consistentes y reproducibles en diferentes períodos de tiempo y situaciones similares. Un instrumento se considera confiable cuando sus mediciones se estabilizan de manera confiable después de un uso repetido en condiciones idénticas, minimizando así los errores aleatorios. Esta característica es crucial en la investigación, ya que garantiza que los datos recopilados sean precisos y representativos, mejorando así la validez de los resultados obtenidos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

La confiabilidad se puede evaluar utilizando muchos enfoques. Comúnmente se utiliza el procedimiento test-retest, que implica la aplicación del instrumento en dos momentos separados para evaluar los resultados posteriores. Si estos son comparables, el instrumento se considera confiable. Un enfoque común es el cálculo del Alfa de Cronbach, que evalúa la consistencia interna de ítems dentro de instrumentos compuestos, como los cuestionarios. Este coeficiente indica el grado de correlación entre los ítems y su capacidad para evaluar el mismo constructo (Tamayo & Tamayo, 2017).

En estudios experimentales, como los que emplean prensas de compresión, conos de Abrams o dispositivos para evaluar la absorción de agua, la confiabilidad depende de la calibración consistente de los instrumentos en laboratorios certificados. La calibración garantiza una medición precisa del dispositivo y reduce los posibles errores sistemáticos que podrían afectar los resultados. Además, es imperativo educar a los responsables de operar estos dispositivos, ya que un uso incorrecto puede poner en peligro la precisión de las lecturas (Martínez, 2019).

En conclusión, la confiabilidad de los equipos es crucial para garantizar la calidad de los datos obtenidos en un estudio. Un instrumento preciso asegura mediciones



confiables y reproducibles, proporcionando una base sólida para el análisis y las conclusiones del estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Tamayo & Tamayo, 2017; Martínez, 2019).

### **3.7 Plan de recolección y procesamiento de datos**

#### **3.7.1 Procedimiento del desarrollo de plan de investigación**

##### **✿ Búsqueda de información.**

La búsqueda de información es un esfuerzo sistemático y organizado destinado a recopilar datos relevantes para responder preguntas de investigación, lograr objetivos definidos y establecer el marco teórico de un estudio. Este proceso implica identificar, elegir y evaluar fuentes confiables y relevantes que ofrezcan respaldo teórico a la investigación y contextualicen los resultados. Esta fase es crucial en cualquier estudio, ya que sienta las bases para identificar el problema de investigación y diseñar la metodología más adecuada (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

El proceso de recuperación de información se puede dividir en varios pasos. Se describen el tema de investigación y los temas clave, lo que permite identificar terminología especializada para su uso en motores de búsqueda o bases de datos. Posteriormente se identifican las fuentes de conocimiento, que pueden incluir publicaciones académicas, libros, tesis, informes técnicos y legislación especializada. En la investigación experimental se priorizan estudios previos relacionados con las variables examinadas, sirviendo de estándar para la comparación de resultados (Tamayo & Tamayo, 2017).

Un elemento crucial de la recuperación de información es la evaluación de la calidad y confiabilidad de las fuentes. Las fuentes preferidas abarcan estudios revisados por pares, regulaciones gubernamentales y bases de datos académicas acreditadas, ya que ofrecen contenido probado y contemporáneo. Además, los datos obtenidos deben ser verificados para asegurar su pertinencia y coherencia con los objetivos de la investigación.

Este paso asegura que el material recolectado sea sustancial y ventajoso para sustentar las decisiones metodológicas y teóricas del estudio (Martínez, 2019).

Los datos recopilados deben organizarse y categorizarse. Esto se logra mediante la creación de fichas de registro o bases de datos que incluyan detalles como autor, título, año, resumen y referencias pertinentes. Este documento ayuda a desarrollar el marco teórico y garantiza que todas las fuentes referenciadas sean mencionadas correctamente, cumpliendo con los estándares éticos y académicos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

#### ✿ **Materiales empleados para la investigación**

- ✓ **Micro sílice:** La microsíllice, también conocida como humo de sílice, es un material de origen industrial que se produce como un subproducto durante la fabricación de aleaciones de silicio y ferrosilicio en hornos eléctricos. Este material está compuesto principalmente por partículas extremadamente finas de dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), con un tamaño mucho más pequeño que las partículas convencionales del cemento, normalmente entre 0.1 y 1 micrómetro. Su uso en la mezcla de concreto se debe a sus efectos positivos en propiedades clave, como la resistencia a la compresión y la durabilidad. Al actuar como un relleno, la microsíllice sella los vacíos presentes en la matriz del concreto, disminuyendo la porosidad y mejorando su densidad, lo que se traduce en un concreto más resistente y menos susceptible a la penetración de agentes agresivos, como los cloruros y sulfatos. Estos beneficios hacen que la microsíllice sea ideal para aplicaciones en infraestructuras sometidas a condiciones agresivas (Mindess et al., 2003).
- ✓ **Nano sílice:** La macrosíllice se refiere a partículas de dióxido de silicio que son considerablemente más grandes que las de la microsíllice, típicamente alcanzando tamaños que varían desde varios micrómetros hasta milímetros. A diferencia de la microsíllice, que tiene una función activa en la mejora de las propiedades del

concreto, la macrosílice no tiene la misma capacidad reactiva ni participa de manera significativa en las reacciones puzolánicas. Sin embargo, puede encontrarse en agregados naturales que contienen sílice. Su presencia en la mezcla de concreto es más pasiva y no contribuye activamente a modificar las propiedades químicas del material, aunque su tamaño la hace adecuada para formar parte de los componentes del concreto como relleno (Neville, 2011).

**Figura 3**

*Micro sílice y nano sílice*



**Nota.** Fuente Google

#### ✿ Extracción de los agregados

La extracción de áridos es una actividad crucial en la industria de la construcción, ya que estos materiales son componentes fundamentales del hormigón y otros productos de construcción. Los áridos, compuestos por materiales como arena, grava y piedra triturada, se obtienen de depósitos naturales o se procesan en instalaciones especializadas para satisfacer las especificaciones técnicas de cada proyecto.

El proceso comienza con la identificación de depósitos naturales, como canteras o cauces de ríos, que albergan materiales aptos para la construcción. Estos depósitos se evalúan según características que incluyen calidad, granulometría y



composición química de los materiales. Una vez identificados, los agregados se extraen mediante métodos que pueden incluir excavación manual, maquinaria pesada o, en ciertos casos, detonaciones controladas en canteras de roca dura. Posteriormente, los materiales extraídos se someten a operaciones de clasificación y purificación para eliminar contaminantes, como residuos orgánicos, arcillas o partículas extrañas. Esto se logra utilizando equipos como tamices y lavadoras que garantizan que los agregados cumplan con las especificaciones necesarias para su integración en el concreto. Los áridos se clasifican en finos (arena) o gruesos (grava y piedra triturada) según su tamaño, lo que influye en su papel en la combinación. La calidad y el tipo de agregados utilizados en la construcción influyen significativamente en las cualidades del concreto, incluida la resistencia, la trabajabilidad y la durabilidad. En consecuencia, la supervisión y la regulación durante la extracción y el procesamiento son cruciales para garantizar que los recursos cumplan con los estándares especificados y faciliten el éxito del proyecto. En resumen, la extracción de agregados es un proceso crucial que abarca la identificación, extracción, clasificación y refinación de materiales naturales o procesados. Este proceso garantiza que los agregados estén en óptimas condiciones para su utilización en concreto y otros materiales de construcción, mejorando así la calidad y durabilidad de los proyectos.

### **3.7.2 Etapa de campo.**

#### **a. Recolección de muestras de agregados naturales**

La obtención de muestras de áridos naturales es un proceso esencial en la construcción y la investigación, ya que permite evaluar la calidad y propiedades de los materiales destinados a la producción de hormigón u otros usos. Esta técnica confirma que los áridos seleccionados cumplen con las especificaciones técnicas requeridas y son adecuados para asegurar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad de las mezclas.



El método comienza con la identificación de fuentes agregadas, como lechos de ríos, depósitos aluviales o canteras, de las cuales se seleccionan sitios específicos para la extracción de muestras. Es fundamental que estos puntos representen con precisión el material presente en el depósito, considerando factores como la uniformidad granulométrica, la composición mineralógica y la ausencia de contaminantes. La selección juiciosa de los sitios de muestreo garantiza que los resultados de las pruebas sean precisos y aplicables a todo el lote.

Luego de la identificación de las ubicaciones, se recolectan muestras utilizando herramientas como palas, baldes o maquinaria liviana, dependiendo de las características del material y el lugar de extracción. Las muestras se obtienen siguiendo procesos establecidos que aseguran volúmenes suficientes y consistentes. Este enfoque es crucial para evitar sesgos en los resultados de próximos experimentos.

Las muestras recolectadas se almacenan y etiquetan adecuadamente para su transporte al laboratorio. Es fundamental evitar la contaminación cruzada o alteración de las propiedades originales de los áridos durante este procedimiento; por lo tanto, se utilizan contenedores limpios y técnicas de manipulación precisas. Al ingresar al laboratorio, las muestras se someten a diversas pruebas, incluido análisis granulométrico, evaluación del contenido de humedad, evaluación de la resistencia a la abrasión y medición de la densidad, para determinar su idoneidad para aplicaciones específicas.

La recolección de muestras de áridos naturales es un procedimiento imprescindible que garantiza la calidad de los materiales empleados en los proyectos de construcción. Este procedimiento, realizado de manera sistemática y cumpliendo con las especificaciones técnicas, produce datos confiables que ayudan en la selección y aplicación adecuada de agregados en la industria de la construcción. (Ojeda, 2020)



### 3.7.3 *Etapa de laboratorio.*

La etapa de laboratorio es una fase crucial en la investigación y desarrollo de proyectos de construcción, ya que implica pruebas y análisis para evaluar las propiedades de los materiales y confirmar teorías dadas. Este procedimiento se realiza en un ambiente controlado, empleando equipos y técnicas avanzadas que garantizan la precisión, repetibilidad y confiabilidad de los resultados.

Actualmente, las muestras recolectadas, compuestas por agregados naturales o mezclas de concreto, son sometidas a diversos ensayos para determinar sus cualidades físicas, químicas y mecánicas. Por ejemplo, en el ámbito del hormigón, se realizan evaluaciones de resistencia a la compresión, consistencia (hundimiento), absorción de agua, durabilidad y granulometría del agregado. Estas evaluaciones nos permiten determinar cómo las propiedades de los materiales influyen en el desempeño del producto final, incluida su integridad estructural y durabilidad.

La fase de laboratorio consta de varias etapas, comenzando con la preparación de la muestra. Se trata de preparar los materiales, eliminar impurezas o ajustar las proporciones de acuerdo con el marco experimental. Posteriormente, se realizan evaluaciones sistemáticas de acuerdo con normas técnicas internacionales, como ASTM o ISO. Cada prueba se realiza bajo condiciones específicas de temperatura, humedad y carga para garantizar que los resultados sean representativos y comparables.

El registro y estructuración de los datos obtenidos son fundamentales en esta etapa. Los resultados se documentan sistemáticamente en formatos o bases de datos diseñados para facilitar el estudio y la comparación. Además, se realizan evaluaciones de calidad para garantizar que las mediciones sean consistentes y libres de imprecisiones. Al detectar discrepancias o valores irregulares, se realizan ajustes o se repiten pruebas para verificar la confiabilidad del proceso.



La fase de laboratorio concluye con un análisis inicial de datos, que permite interpretar los resultados y generar información esencial para las etapas posteriores del proyecto. Esta fase es esencial para probar hipótesis, optimizar diseños y permitir decisiones informadas sobre la implementación de los materiales o procesos evaluados.

La fase de laboratorio es fundamental para garantizar la calidad y precisión de los datos obtenidos en un estudio. Esta fase establece los principios científicos necesarios para formular soluciones efectivas en la construcción e industrias afines a través de experimentos controlados y estudios integrales. (Reyes, 2022)

### **i. Ensayo de contenido de humedad.**

La prueba del contenido de humedad es un procedimiento técnico que se utiliza para determinar la cantidad de agua en una sustancia en comparación con su peso seco. Esta evaluación es vital en la construcción, ya que el contenido de humedad de los materiales puede influir directamente en su desempeño y en los atributos finales del producto, incluyendo resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

El proceso comienza con la obtención de una muestra representativa del material, como áridos o suelo, en su estado original. Inicialmente se pesa la muestra para determinar su peso húmedo. El material se somete a un secado regulado en un horno a una temperatura especificada, a menudo entre 100 y 110 °C, hasta que se elimina por completo toda la humedad. Posteriormente al secado se vuelve a pesar para registrar su peso libre de humedad.

El contenido de humedad se expresa como porcentaje y se calcula comparando el peso inicial (húmedo) con el peso final (seco). Este porcentaje indica el volumen de agua retenida en el material antes del secado, lo que proporciona información crucial para ajustar los diseños de mezclas en la fabricación de hormigón.

La evaluación del contenido de humedad de los áridos en las mezclas de hormigón es fundamental para modificar la cantidad de agua y garantizar así una relación óptima



agua/cemento. Esto es crucial para lograr la resistencia y durabilidad necesarias en el producto final. Esta prueba permite evaluar el efecto de la humedad en el desempeño de diferentes materiales en entornos controlados en actividades de investigación y experimentación.

En conclusión, la prueba del contenido de humedad es un procedimiento esencial en la construcción, ya que garantiza la calidad del material y permite ajustes precisos en los diseños de mezclas, mejorando así el rendimiento del producto y previniendo problemas estructurales. La ejecución precisa es esencial para garantizar resultados confiables y pertinentes.

### **Cálculo:**

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

### **ii. Ensayo de análisis granulométrico.**

El ensayo de análisis granulométrico es un procedimiento técnico utilizado para determinar la distribución granulométrica de materiales granulares, abarcando tanto áridos finos como gruesos. Esta prueba es crucial en la construcción, ya que la granulometría de los materiales afecta directamente propiedades clave como la resistencia, la trabajabilidad y la durabilidad de mezclas como el hormigón y los morteros.

El método comienza con la preparación de una muestra representativa de la sustancia para su análisis. La muestra se deshidrata para eliminar la humedad y evitar la adherencia de partículas, que pueden poner en peligro los resultados. Posteriormente, se somete a una serie de tamices estándar con aberturas cada vez más pequeñas, organizados en una secuencia determinada. La muestra se agita, ya sea manualmente o con un tamiz mecánico, durante un período específico para garantizar que las partículas estén suficientemente separadas por tamaño.



Se pesa el material recogido en cada tamiz y se calcula su porcentaje con respecto al peso total de la muestra. Este proceso facilita la cuantificación del material que pasa o es retenido en cada tamiz, dando como resultado una distribución granulométrica detallada. Los resultados se presentan en una tabla y una curva granulométrica que muestra la distribución de partículas por tamaño.

El análisis granulométrico es crucial para evaluar la calidad de los áridos. Una nivelación precisa garantiza una combinación altamente compactada, lo que aumenta la resistencia del hormigón y reduce la necesidad de agua y cemento. Además, mitiga problemas como la segregación o la excesiva porosidad en las mezclas, asegurando un mejor rendimiento estructural.

Esta prueba es esencial en aplicaciones experimentales y proyectos de construcción para seleccionar materiales adecuados y ajustar los diseños de mezcla de acuerdo con las especificaciones del proyecto. También se emplea para verificar que los materiales cumplan con regulaciones técnicas, como las normas ASTM e ISO, que estipulan limitaciones permitidas para ciertas aplicaciones.

En resumen, el análisis granulométrico es una técnica esencial para evaluar y mejorar el rendimiento de los materiales granulares en la construcción. La ejecución precisa produce datos extensos sobre la distribución del tamaño de las partículas, lo que garantiza mezclas mejoradas y una máxima eficacia estructural.

### iii. **Ensayo de resistencia a la compresión del concreto.**

El ensayo de resistencia a la compresión es una técnica crucial en la construcción, ya que evalúa la capacidad del hormigón para soportar cargas axiales sin fallar. Este atributo es crucial para garantizar la seguridad y estabilidad de las estructuras, ya que la resistencia a la compresión es una medida principal utilizada en el diseño de mezclas y la evaluación de la calidad del hormigón.



El proceso comienza con la fabricación de probetas de concreto cilíndricas o cúbicas, apegándose a los parámetros del diseño de la mezcla y cumpliendo con estándares internacionales, como las normas ASTM o ISO. Las muestras se curan en condiciones reguladas de humedad y temperatura durante un período determinado, a menudo 7, 14 o 28 días, dependiendo de los objetivos de la prueba. Este procedimiento garantiza que el hormigón alcance el nivel de hidratación necesario para alcanzar su resistencia.

Al finalizar el período de curado, las probetas se colocan en una prensa hidráulica o mecánica que ejerce un peso gradual y uniforme sobre su superficie. La carga aumenta gradualmente hasta que la muestra falla, lo que produce una fractura debido a la presión aplicada. La capacidad de carga máxima de la muestra se documenta y se utiliza para determinar la resistencia a la compresión, representada en fuerza por unidad de área, como megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm<sup>2</sup>).

La prueba de resistencia a la compresión es fundamental para evaluar si el hormigón cumple con las especificaciones de diseño y las normas reglamentarias. Además, facilita la identificación de cualquier defecto en la mezcla, como una relación inadecuada de agua/cemento, una calidad de árido deficiente o un curado inadecuado. Los resultados adquiridos son cruciales para validar ideas de mix y facilitar modificaciones en próximos proyectos.

Esta prueba es crucial en la investigación experimental para evaluar los efectos de variables como la adición de aditivos o materiales reciclados sobre las propiedades mecánicas del hormigón. Los resultados determinan si las alteraciones en la combinación mejoran o influyen en la resistencia del material.

En resumen, el ensayo de resistencia a la compresión es una operación esencial que garantiza la calidad y seguridad del hormigón en aplicaciones estructurales. La ejecución y el análisis precisos producen datos confiables para tomar decisiones informadas en el diseño y construcción de infraestructura civil.



### **3.7.4 Etapa de gabinete**

La etapa de oficina es una fase crucial en el desarrollo de la investigación, ya que organiza, analiza e interpreta los datos adquiridos durante las fases de campo y laboratorio. Este procedimiento permite convertir los datos obtenidos en conclusiones y sugerencias definitivas, consistentes con los objetivos del estudio. En este nivel se amalgaman resultados experimentales y teóricos, garantizando un análisis riguroso y fundamentado.

La fase inicial de esta etapa implica la sistematización de la información, lo que implica la organización de los datos adquiridos en tablas, gráficos y bases de datos. Esta configuración permite un mayor análisis, permitiendo reconocer patrones, tendencias y correlaciones notables entre las variables examinadas. En la investigación experimental, especialmente en lo que respecta a la resistencia o durabilidad de los materiales, se analizan los resultados de las pruebas de laboratorio y se comparan con los requisitos técnicos o los estándares de calidad.

Posteriormente se realiza el análisis de los datos, empleando herramientas estadísticas para corroborar los hallazgos. Este análisis puede implicar cálculos de medias, desviaciones estándar o pruebas de significancia, dependiendo de la naturaleza de la investigación. Durante esta fase, los resultados se comparan con investigaciones anteriores, facilitando la contextualización de los hallazgos dentro del marco teórico establecido y aportando nuevos conocimientos al tema de estudio.

Un elemento crucial de la etapa de oficina es el análisis de los resultados, en el que se evalúa la importancia de los datos con respecto a las hipótesis y objetivos articulados. Esta fase implica un examen exhaustivo que evalúa tanto las limitaciones del estudio como las ramificaciones prácticas de los resultados. Por ejemplo, en estudios sobre la integración de materiales reciclados se analizan las implicaciones de estas alteraciones sobre las cualidades del material y su viabilidad técnica y económica.



La etapa de gabinete concluye con la elaboración del informe final, que presenta los resultados, análisis y conclusiones en un formato organizado. Este artículo contiene tablas, gráficos, debates y sugerencias que representan de manera precisa y precisa el impacto del estudio. Además, se garantiza que la información sea citada con precisión y se ajuste a normas éticas y académicas.

En conclusión, la etapa de oficina es un proceso crucial que imparte importancia y utilidad a los datos recopilados a lo largo de una investigación. Esta fase nos permite generar conclusiones sólidas y fundamentadas que mejoran el conocimiento y abordan cuestiones prácticas a través de una organización, análisis e interpretación meticulosas.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Conclusiones obtenidas a partir de los ensayos

Los resultados derivados de las pruebas surgen del análisis e interpretación de los datos producidos durante las investigaciones experimentales realizadas. Estas conclusiones indican inmediatamente cómo los factores manipulados en el estudio influyen en las cualidades o el comportamiento del sujeto de investigación. Además, ofrecen respuestas inequívocas y bien fundamentadas a las preguntas planteadas en los objetivos de la investigación. En la investigación experimental, los hallazgos se derivan de resultados cuantitativos obtenidos de evaluaciones técnicas, incluidas pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y durabilidad. Estas pruebas producen datos que, tras su procesamiento y evaluación, permiten identificar patrones, tendencias y correlaciones entre variables independientes y dependientes. La investigación sobre el hormigón puede revelar cómo la incorporación de materiales reciclados mejora o influye en las cualidades mecánicas de la sustancia.

Las conclusiones poseen un aspecto comparativo, ya que yuxtaponen los datos adquiridos con normas técnicas establecidas u otras investigaciones dentro del mismo dominio. Esto evalúa si los hallazgos se ajustan a los estándares actuales o incluyen mejoras sustanciales que generen nuevos conocimientos o soluciones prácticas (González & Pérez, 2022).

## Caracterización de los agregados

### a. Contenido de humedad

Tabla 4

*Resultados del análisis de humedad en los especímenes*

	<b>Muestra: Agregado</b>	
	<i>Agregado fino</i>	<i>Agregado grueso</i>
<b><i>M. húmeda+Tara</i></b>	342.75	433.41
<b><i>M. seca+Tara</i></b>	332.36	425.36
<b><i>Tara</i></b>	52.41	59.42
<b><i>M. húmeda</i></b>	293.36	374.36
<b><i>M. seca</i></b>	281.25	365.42
<b><i>- Agua</i></b>	15.87	8.12
<b><i>%Humedad</i></b>	5.32	2.74

La tabla detalla los resultados del ensayo de determinación de humedad en agregados finos y gruesos, desglosando las mediciones de peso en condiciones húmedas y secas, tanto considerando la tara como excluyéndola. Se cuantifica la masa de agua presente y se calcula el porcentaje de humedad relativo al peso seco de los especímenes. Los datos obtenidos indican que el agregado fino exhibe una mayor higroscopicidad, con un porcentaje de humedad del 5.32 %, mientras que el agregado grueso alcanza un valor inferior, del 2.74 %. Esta información es crítica para la optimización de la relación agua/cemento en el diseño de mezclas de concreto, garantizando una cohesión adecuada de la matriz y un desempeño mecánico consistente en el material endurecido.

### b. Peso específico y absorción

Tabla 5

*Resultados de análisis de densidad y absorción en las muestras*

<b>Agregado</b>	<b>P.E. (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Abs. (%)</b>
Fino	3.51	2.75
Grueso	2.45	1.84

La tabla presenta los resultados del análisis de densidad y absorción de agua realizados en muestras de agregados finos y gruesos. En términos de peso específico (P.E.), el agregado fino exhibe un valor más elevado de  $3.51 \text{ g/cm}^3$  en comparación con el agregado grueso, que presenta un peso específico de  $2.45 \text{ g/cm}^3$ . Por otro lado, la capacidad de absorción de agua, expresada en porcentaje, es mayor en el agregado fino (2.75 %) frente al agregado grueso (1.84 %). Estos datos son fundamentales para el diseño de mezclas de concreto, ya que influyen directamente en la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del material, permitiendo ajustar las proporciones de agua y otros componentes en función de las características de los agregados.

### c. Peso individual de las muestras evaluadas compactados y sueltos

**Tabla 6**

*Peso individual de las muestras evaluadas.*

Peso individual de las muestras evaluadas		
Agregado	Suelto	Compactado
Fino	1.675	1.425
Grueso	1.696	1.535

*Nota.* Resultados de laboratorio.

La tabla detalla los pesos individuales de los agregados evaluados, tanto en condición suelta como compactada. Para el agregado fino, el peso suelto registrado es de  $1.875 \text{ g/cm}^3$ , mientras que el compactado alcanza un valor de  $1.425 \text{ g/cm}^3$ . En el caso del agregado grueso, el peso suelto es ligeramente superior, con  $1.896 \text{ g/cm}^3$ , y su peso compactado asciende a  $1.535 \text{ g/cm}^3$ . Estos valores son cruciales para calcular la densidad aparente y ajustar las proporciones de los materiales en el diseño de mezclas de concreto, permitiendo optimizar la cohesión y trabajabilidad de la mezcla, así como garantizar un desempeño estructural eficiente.



Tabla 7

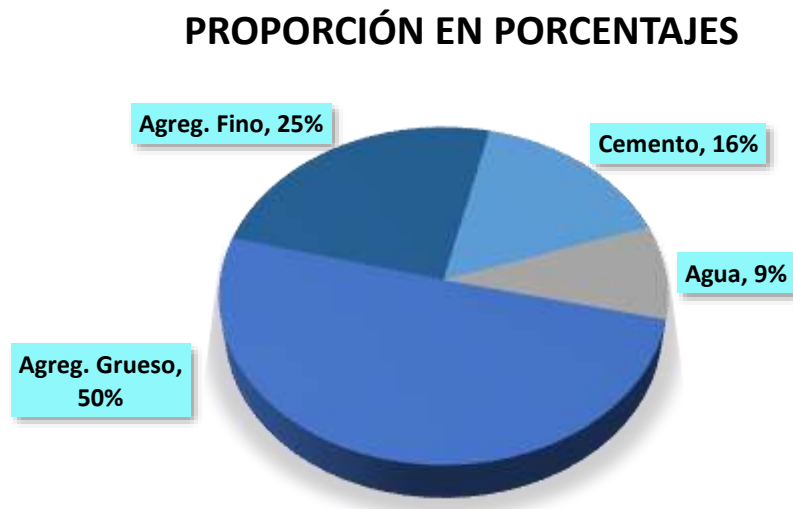
Proporciones de materiales en la dosificación de concreto.

AGREGADO	PESO SECO	VOLUMEN	PESO HÚMEDO	VOLUMEN
	(Kg/m <sup>3</sup> )	PESO SECO	(Kg/m <sup>3</sup> )	PESO HÚMEDO
Cemento	370	1.00	366	1.00
Agua	205	0.56	181	0.50
Agreg. Grueso	935	2.51	950	2.60
Agreg. Fino	710	1.89	730	2.01
Aire	2.0 %		2.0 %	

La tabla expone las proporciones específicas de los materiales empleados en la dosificación del concreto, detallando las condiciones de peso seco y peso húmedo, así como los volúmenes correspondientes para cada componente. En el caso del cemento, se registra un peso seco de 370 kg/m<sup>3</sup> y un peso húmedo de 386 kg/m<sup>3</sup>, ambos con un volumen constante de 1.00 m<sup>3</sup>. El agua, por su parte, presenta un peso seco de 205 kg/m<sup>3</sup> y un peso húmedo de 181 kg/m<sup>3</sup>, con volúmenes equivalentes a 0.56 m<sup>3</sup> y 0.50 m<sup>3</sup>, respectivamente. En cuanto a los agregados, el grueso exhibe un peso seco de 935 kg/m<sup>3</sup> y un peso húmedo de 950 kg/m<sup>3</sup>, alcanzando volúmenes de 2.51 m<sup>3</sup> y 2.60 m<sup>3</sup>. Por su lado, el fino presenta un peso seco de 710 kg/m<sup>3</sup> y un peso húmedo de 730 kg/m<sup>3</sup>, con volúmenes registrados de 1.89 m<sup>3</sup> y 2.01 m<sup>3</sup>. Asimismo, se considera un contenido de aire incorporado del 2.0 %, que representa la porosidad intencional o espacios de aire atrapados dentro de la mezcla. Estos datos resultan fundamentales para el diseño técnico de mezclas de concreto, ya que permiten establecer una relación precisa entre los componentes principales. La correcta dosificación asegura un equilibrio óptimo entre trabajabilidad, resistencia mecánica, densidad y durabilidad de la matriz cementante, maximizando el desempeño estructural del concreto en aplicaciones de alta exigencia.

**Figura 6**

*Relación de proporciones en los materiales de concreto.*



La gráfica circular representa la proporción relativa de los componentes principales empleados en la dosificación de una mezcla de concreto, expresados en términos porcentuales. El agregado grueso constituye la mayor proporción, con un 50 %, seguido del agregado fino, que representa el 25 % de la mezcla. El cemento ocupa un 16 %, mientras que el agua representa el 9 % restante.

Esta distribución refleja un diseño típico de mezcla en el que los agregados, al ser los componentes de mayor volumen, aportan estabilidad y soporte a la matriz cementante, mientras que el cemento actúa como aglutinante y el agua como el medio necesario para la hidratación del cemento. La proporción precisa de estos elementos es clave para garantizar propiedades óptimas de trabajabilidad, resistencia mecánica y durabilidad en la mezcla final.

#### **4.1.1 Análisis del comportamiento del asentamiento en los testigos**

##### **a. Asentamiento mostrado por las muestras naturales y con aditivo**

Tabla 8

*Registro de Prototipos convencionales utilizadas en ensayos*

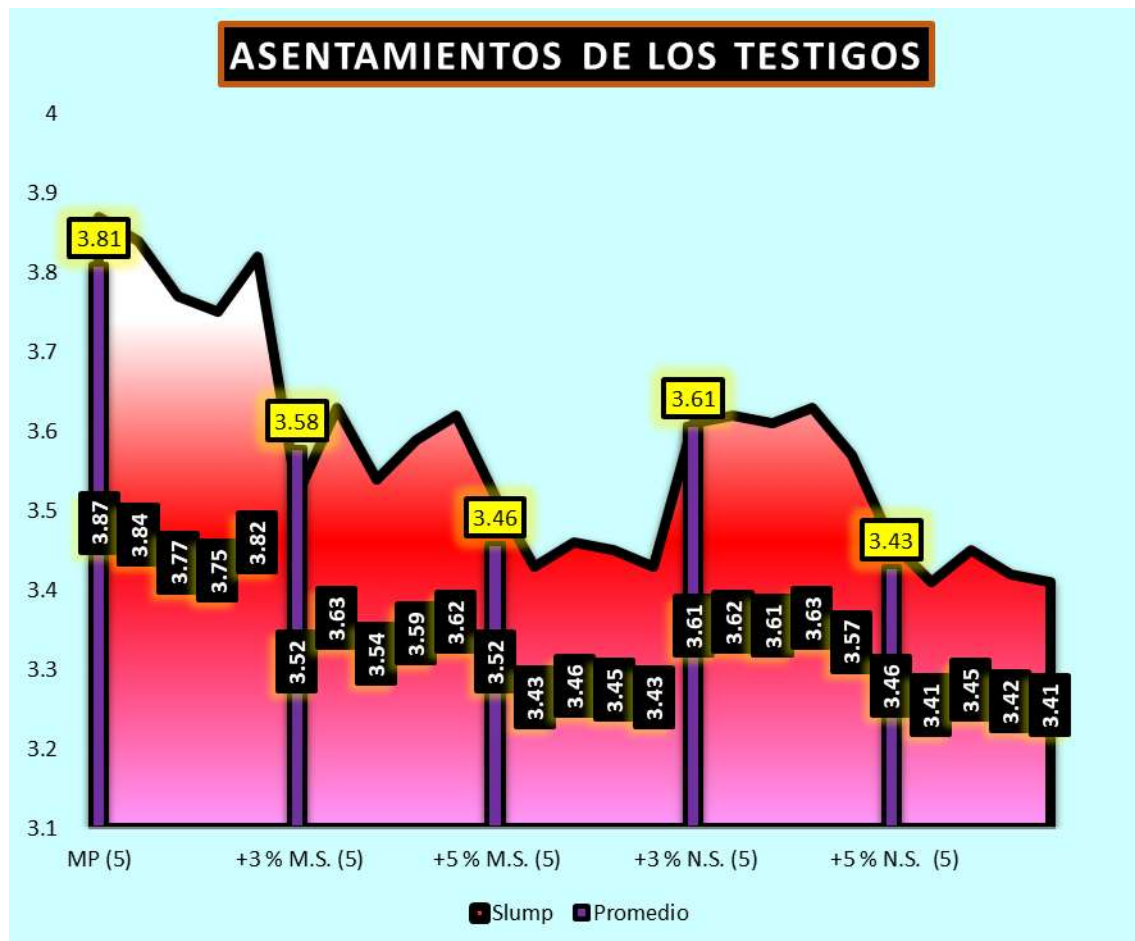
Nº	Descripción	Slump	Promedio	Unidad de medición
1	MP (5 UNDS)	3.87	3.78"	
		3.84		
		3.77		
		3.75		
		3.82		
2	+3 % M.S. (5 UNDS)	3.52	3.55"	
		3.63		
		3.54		
		3.59		
		3.62		
3	+5 % M.S. (5 UNDS)	3.52	3.48"	Pulgadas (SLUMP)
		3.43		
		3.46		
		3.45		
		3.43		
4	+3 % N.S. (5 UNDS)	3.61	3.60"	
		3.62		
		3.61		
		3.63		
		3.57		
5	+5 % N.S. (5 UNDS)	3.46	3.43"	
		3.41		
		3.45		
		3.42		
		3.41		

La tabla sintetiza los resultados del ensayo de consistencia (slump) para diversas formulaciones de concreto, evaluando la influencia de porcentajes incrementales de micro y nano sílice en la trabajabilidad. Se registraron valores individuales y promedios en pulgadas para cinco prototipos específicos: el concreto patrón (MP) presentó un slump promedio de 3.78 pulgadas, mientras que las mezclas modificadas con +3 % y +5 % de micro sílice alcanzaron promedios de 3.55 y 3.48 pulgadas, respectivamente. Por otro lado, las formulaciones con +3 % y +5 % de nano sílice evidenciaron valores promedio de 3.60 y 3.43 pulgadas. Estos resultados reflejan una tendencia decreciente en la trabajabilidad conforme aumenta la adición de aditivos, siendo más pronunciado en el caso del nano sílice, debido a su mayor efecto en la cohesión y reducción de la fluidez de la mezcla. La

información obtenida es clave para analizar el balance entre consistencia y propiedades mecánicas en el diseño de mezclas especializadas.

**Figura 7**

*Análisis visual de asentamientos logrados*



**Nota:** MS (micro sílice) NS (nano sílice)

La gráfica representa un análisis visual de los asentamientos logrados en las diferentes mezclas de concreto, resaltando tanto los valores individuales de slump como los promedios correspondientes. Cada grupo de barras identifica una formulación específica: el concreto patrón (MP) y mezclas con +3 % y +5 % de micro sílice (M.S.) y nano sílice (N.S.). El concreto patrón (MP) registra el mayor promedio de asentamiento, con 3.81 pulgadas, indicando una mezcla de mayor fluidez. Las adiciones de micro sílice muestran una disminución progresiva en la trabajabilidad, con promedios de asentamiento de 3.58 y

3.46 pulgadas para los porcentajes de +3 % y +5 %, respectivamente. Por otro lado, las mezclas con nano sílice reflejan una menor trabajabilidad, registrando 3.61 pulgadas con +3 % y 3.43 pulgadas con +5 %, lo que evidencia un incremento en la cohesión de la mezcla debido a este aditivo. La tendencia decreciente en los valores de asentamiento destaca cómo la incorporación de micro y nano sílice afecta negativamente la consistencia de la mezcla fresca. Esto es particularmente notable con el uso de nano sílice, que produce mezclas más densas y menos trabajables. La gráfica ofrece una representación clara de los efectos de estos aditivos, proporcionando una base visual para evaluar su impacto en el diseño de mezclas de concreto.

#### 4.1.2 Evaluación de la resistencia compresiva en los especímenes ensayados

##### a. Resistencia a la compresión a los 7 días

Tabla 9

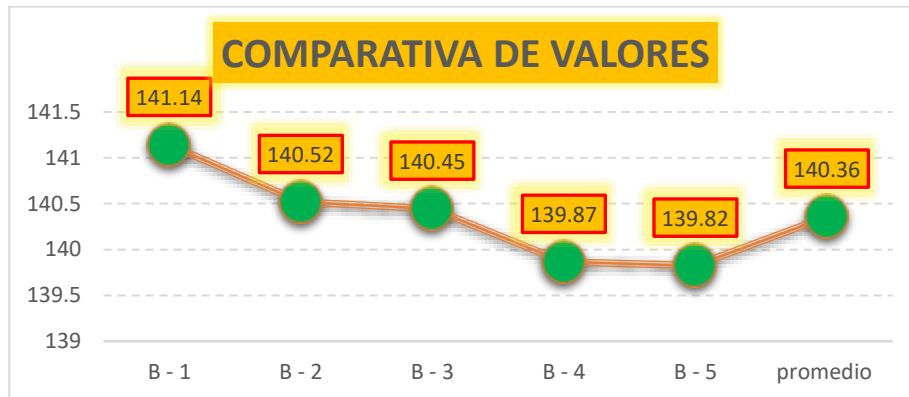
*Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	24975		141.14		
2	B - 2	24765		140.52		
3	B - 3	24852	140.36	140.45	210	7
4	B - 4	24650		139.87		
5	B - 5	24742		139.82		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 8**

*Representación gráfica del comportamiento del concreto base*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 10**

*Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

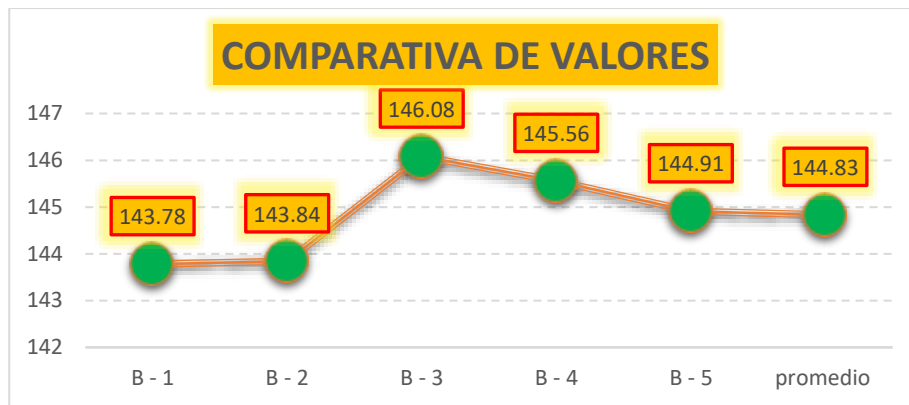
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	25441		143.78		
2	B - 2	25452		143.84		
3	B - 3	25746	144.83	146.08	210	7
4	B - 4	25654		145.56		
5	B - 5	25642		144.91		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + 3% con micro sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las

puebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 9**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 11**

*Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

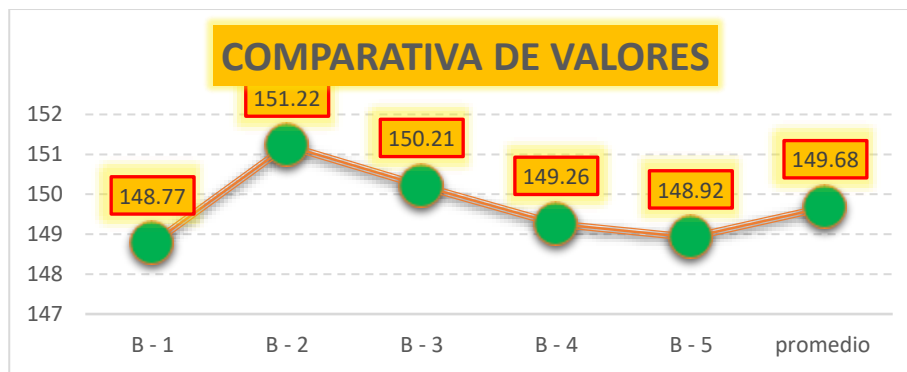
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	26325	149.68	148.77	210	7
2	B - 2	26759		151.22		
3	B - 3	26579		150.21		
4	B - 4	26412		149.26		
5	B - 5	26352		148.92		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional con micro sílice 5%, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función

de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 10**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 12**

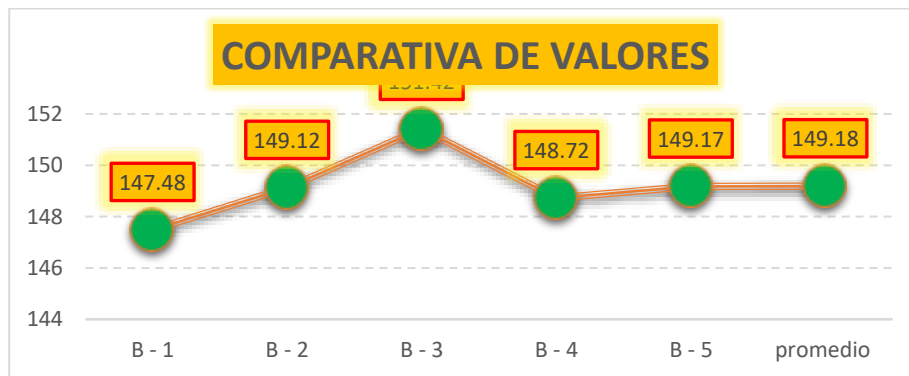
*Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	26096		147.48		
2	B - 2	26387		149.12		
3	B - 3	26794	149.18	151.42	210	7
4	B - 4	26316		148.72		
5	B - 5	26395		149.17		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + nano sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 11**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 13**

*Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

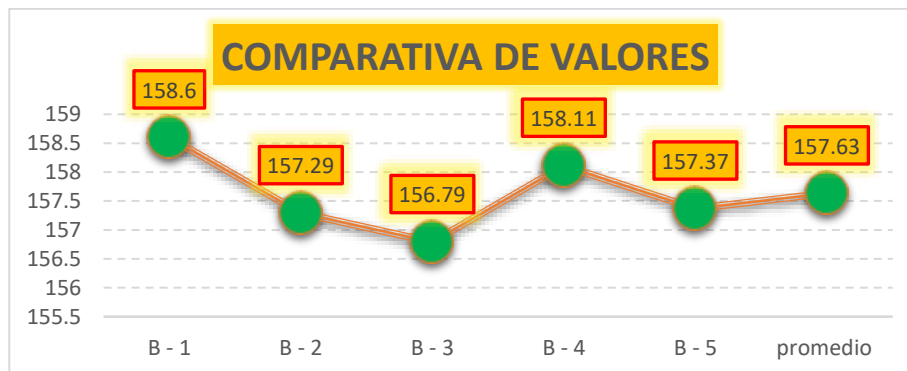
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	28065	157.63	158.60	210	7
2	B - 2	27832		157.29		

3	B - 3	27744	156.79
4	B - 4	27977	158.11
5	B - 5	27847	157.37

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + nano sílice 5%, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 12**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**b. Resistencia a la compresión a los 14 días**

**Tabla 14**

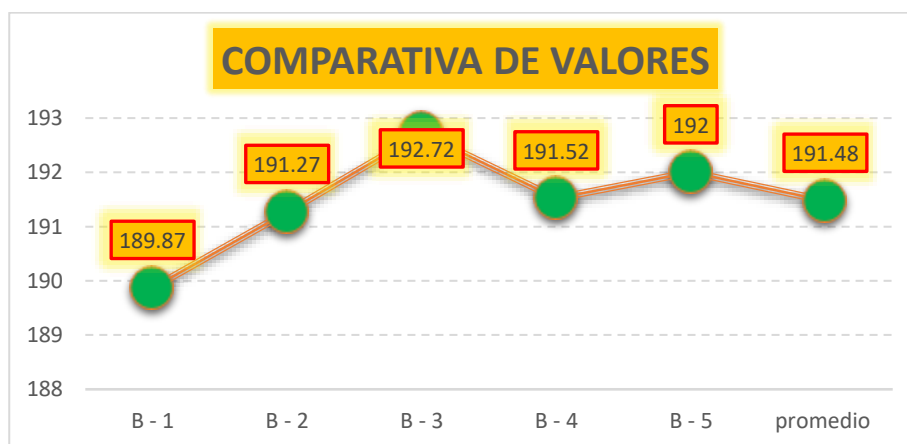
*Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	33597		189.87		
2	B - 2	33845		191.27		
3	B - 3	33965	191.48	192.72	210	14
4	B - 4	33754		191.52		
5	B - 5	33974		192.00		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 13**

*Representación gráfica del comportamiento del concreto base*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño

del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 15**

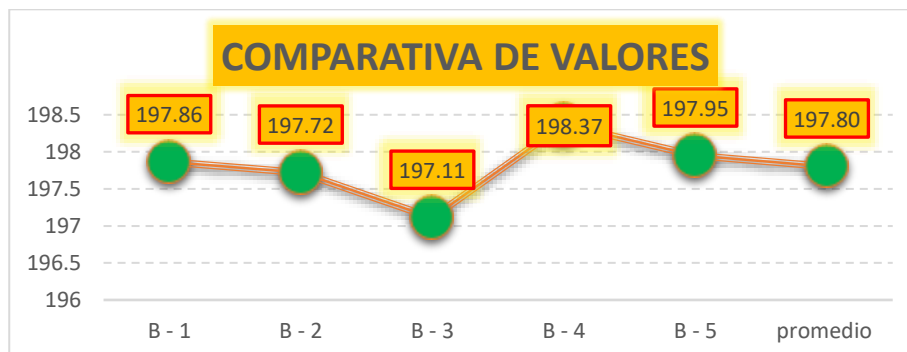
*Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	35012		197.86		
2	B - 2	34987		197.72		
3	B - 3	34879	197.80	197.11	210	14
4	B - 4	35101		198.37		
5	B - 5	35027		197.95		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos + nano sílice 3%, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 14**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados

individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 16**

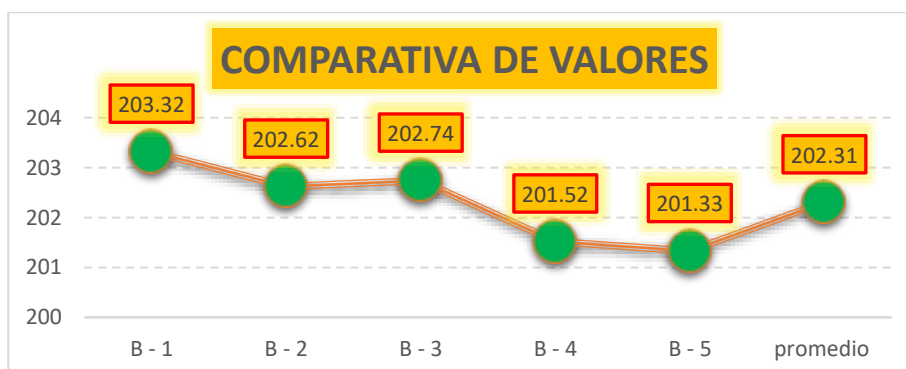
*Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	35978		203.32		
2	B - 2	35854		202.62		
3	B - 3	35875	202.31	202.74	210	14
4	B - 4	35659		201.52		
5	B - 5	35625		201.33		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + micro sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 15**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 17**

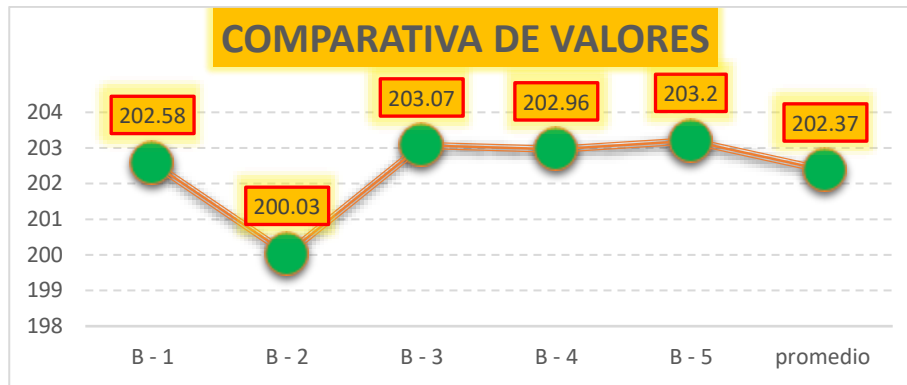
*Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	35846		202.58		
2	B - 2	35395		200.03		
3	B - 3	35933	202.37	203.07	210	14
4	B - 4	35769		202.96		
5	B - 5	35957		203.20		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional nano sílice 3%, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 16**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 18**

*Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

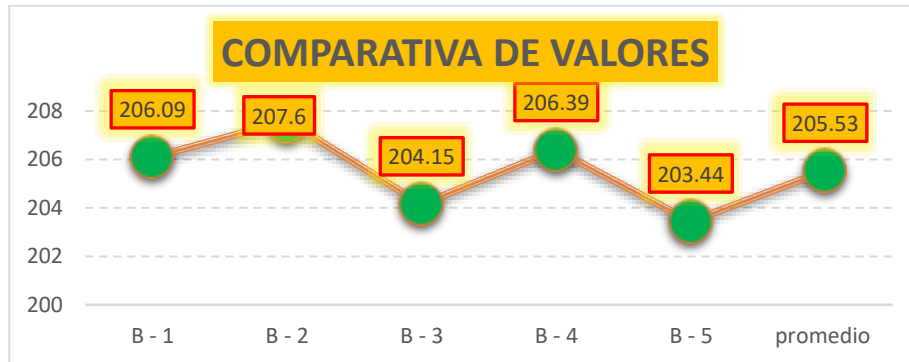
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	36468		206.09		
2	B - 2	36735		207.60		
3	B - 3	36125	205.53	204.15	210	14
4	B - 4	36374		206.39		
5	B - 5	35998		203.44		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional 5% nano sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto

bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 17**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

### c. Resistencia a la compresión a los 28 días

**Tabla 19**

*Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia*

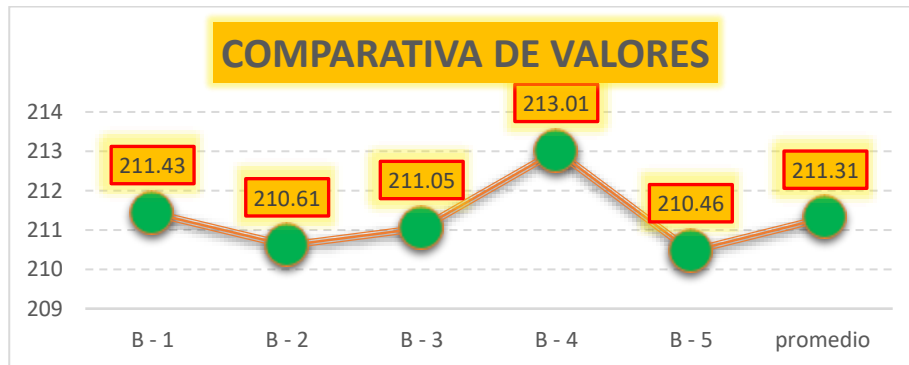
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	37412		211.43		
2	B - 2	37267		210.61		
3	B - 3	37345	211.31	211.05	210	28
4	B - 4	37541		213.01		
5	B - 5	37241		210.46		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a

los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 18**

*Representación gráfica del comportamiento del concreto base*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 20**

*Prototipos con micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

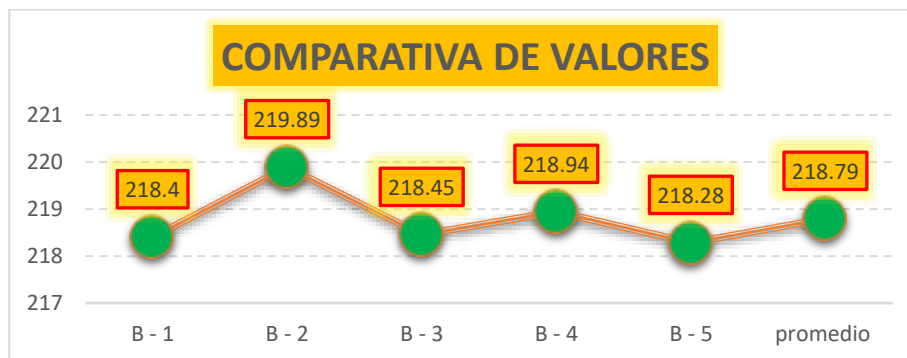
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	38645		218.40		
2	B - 2	38754		219.89		
3	B - 3	38654	218.79	218.45	210	28
4	B - 4	38741		218.94		
5	B - 5	38625		218.28		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + 3% de micro sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima

soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 19**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 21**

*Prototipos con micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	39516		223.32		
2	B - 2	39262		221.88		
3	B - 3	39474	222.93	223.08	210	28
4	B - 4	39245		222.68		
5	B - 5	39579		223.67		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + 5% micro sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 20**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de micro sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 22**

*Prototipos con nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia*

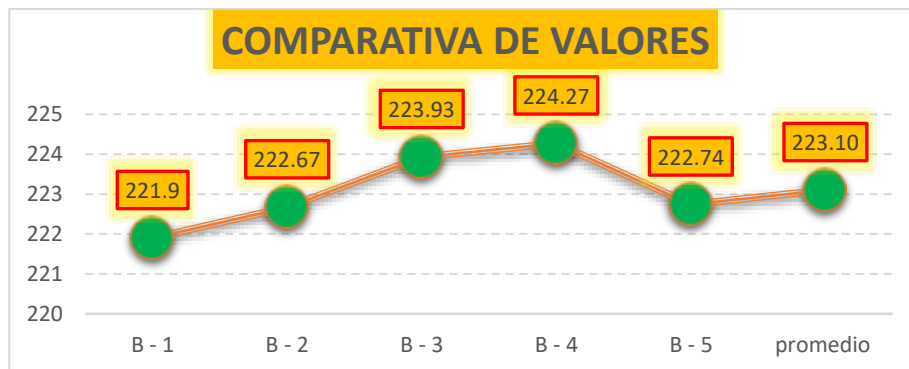
Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	39265	223.10	221.90	210	28
2	B - 2	39402		222.67		

3	B - 3	39625	223.93
4	B - 4	39525	224.27
5	B - 5	39414	222.74

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional 3% de nano sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 21**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 3%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**Tabla 23**

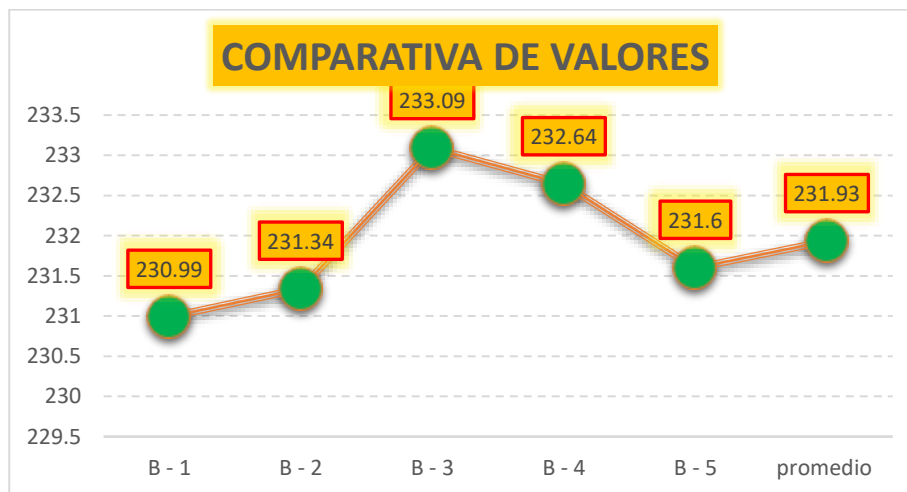
*Prototipos con nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia*

Nº	TESTIGOS	CARGA (kg)	Promedio	ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	DIAS
1	B - 1	40874		230.99		
2	B - 2	40935		231.34		
3	B - 3	41245	231.93	233.09	210	28
4	B - 4	41001		232.64		
5	B - 5	40981		231.60		

La tabla sintetiza los resultados de los ensayos de resistencia aplicados a prototipos de concreto convencional + 5% de nano sílice, describiendo las magnitudes de carga máxima soportada, los valores promedio obtenidos, y la resistencia a la rotura calculada en función de las especificaciones normativas. Asimismo, se detalla el diseño estructural correspondiente a los especímenes y el período de curado previo a la ejecución de las pruebas. Estos datos permiten evaluar con precisión el desempeño mecánico del concreto bajo condiciones controladas, asegurando su conformidad con los parámetros del diseño técnico y los requerimientos estructurales establecidos.

**Figura 22**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + aditivo de nano sílice 5%*



El gráfico ilustra una comparación de valores derivados de pruebas de resistencia en varios prototipos de hormigón estándar. Se representan las variaciones en los resultados individuales en relación con el promedio, destacando las diferencias en el rendimiento mecánico de cada prototipo. La tendencia identificada ayuda en el examen del desempeño

del concreto bajo carga, ofreciendo una visión definitiva de la uniformidad y consistencia de los resultados de las pruebas.

**d. Cuadros de comparación de las Prototipos con adición del micro y nano sílice**

**Tabla 24**

*Unidades contrastadas*

Muestra	COMPRESIÓN (KG/CM <sup>2</sup> )		
	7días	14días	28días
MP	140.36	191.48	211.31
MP +3% MS	144.83	197.80	218.79
MP +5% MS	149.68	202.31	222.93
MP +3% NS	149.18	202.37	223.10
MP +5% NS	157.63	205.53	231.93

La tabla presenta los valores de resistencia a la compresión obtenidos en distintas mezclas de concreto evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado. Se incluyen los resultados de la mezcla patrón (MP) y de aquellas modificadas con adiciones incrementales de micro sílice (MS) y nano sílice (NS). Los datos reflejan un incremento progresivo en la resistencia a medida que avanza el tiempo de curado, siendo notable la mejora en las mezclas con aditivos, especialmente aquellas con nano sílice al 5 %, que registran los valores más altos. Esta comparación técnica permite evaluar el impacto de las adiciones en el desempeño mecánico del concreto y su adecuación para aplicaciones estructurales que requieren mayor resistencia.

Figura 23

Grafica comparativa de las muestras a través de su proceso de curación



La gráfica ilustra la evolución de la resistencia a la compresión de diversas mezclas de concreto a lo largo de los periodos de curado de 7, 14 y 28 días. Se comparan la mezcla patrón (MP) con aquellas modificadas mediante adiciones progresivas de micro sílice (MS) y nano sílice (NS). Los resultados evidencian un incremento sostenido en la resistencia con el tiempo de curado, destacándose las mezclas con nano sílice al 5 %, que alcanzan los valores más altos. Esta representación visual resalta el impacto positivo de los aditivos en la mejora del desempeño mecánico, permitiendo una evaluación clara y técnica de las propiedades del concreto en función de las modificaciones realizadas.

#### 4.1.3 Resistencia a la flexión en especímenes con aditivos avanzados

La resistencia a la flexión en probetas que incluyen aditivos avanzados denota la capacidad del hormigón para soportar cargas de flexión antes de fallar, un criterio esencial para construcciones expuestas a esfuerzos de tracción indirectos, incluidas losas,

pavimentos y componentes prefabricados. La incorporación de aditivos sofisticados, como la micro y nano sílice, potencia considerablemente esta característica al afinar la matriz cementosa y mejorar la adhesión entre la pasta y los áridos. Estos aditivos no sólo disminuyen la porosidad interna, sino que también aumentan la densidad del material, facilitando una distribución más uniforme de las tensiones inducidas por la carga. El resultado es un hormigón con mayor resistencia a deformaciones y cargas en condiciones críticas, lo que lo establece como una alternativa ideal para proyectos con importantes requisitos estructurales.

#### a. Resistencia a la flexión a los 7 días

**Tabla 25**

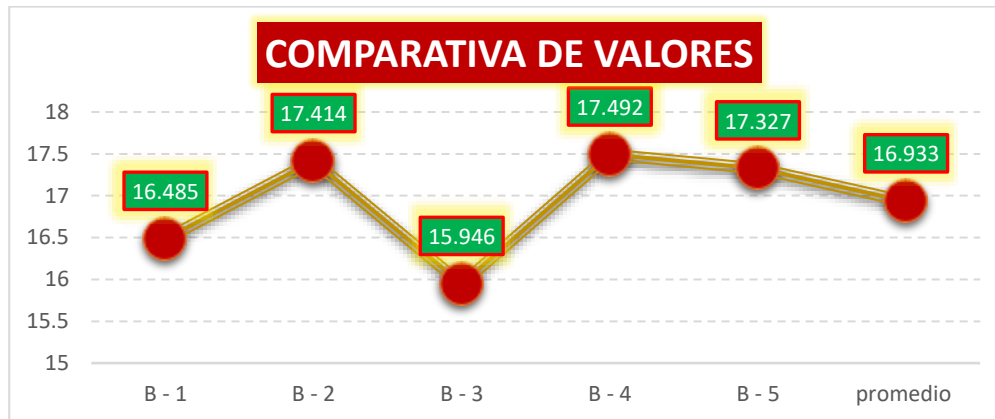
*Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1109.01	16.485		
2	V - 2	1175.45	17.414		
3	V - 3	1072.78	15.946	16.93	7
4	V - 4	1176.75	17.492		
5	V - 5	1169.58	17.327		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 24**

*Representación gráfica del comportamiento del concreto base*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 26**

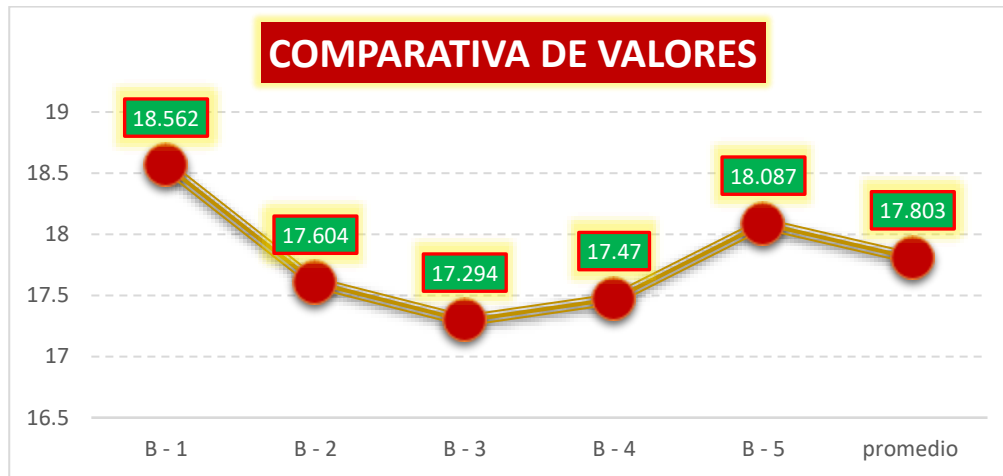
*Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1248.74	18.562		
2	V - 2	1188.25	17.604		
3	V - 3	1167.36	17.294	17.80	7
4	V - 4	1179.25	17.470		
5	V - 5	1220.86	18.087		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 25**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 27**

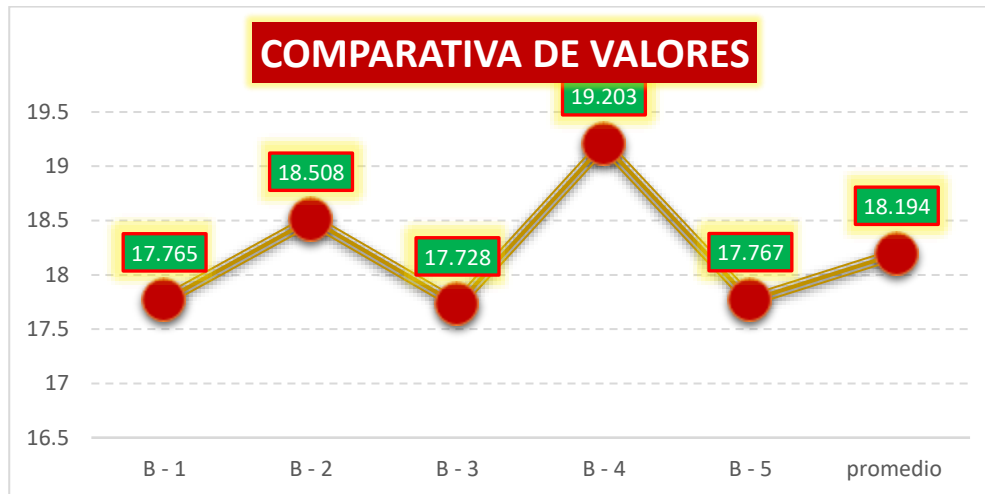
*Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1195.14	17.765	18.19	7
2	V - 2	1249.26	18.508		
3	V - 3	1196.63	17.728		
4	V - 4	1296.23	19.203		
5	V - 5	1199.26	17.767		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 26**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 28**

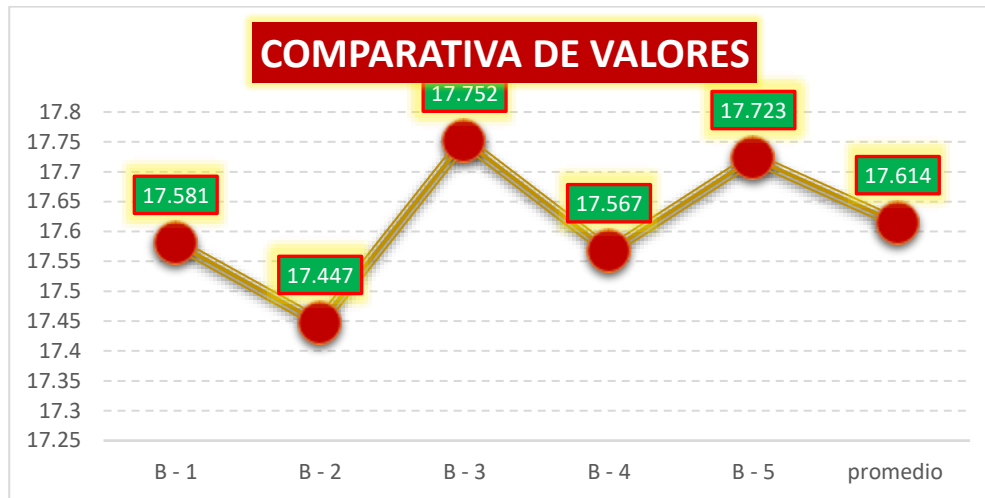
*Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1182.75	17.581	17.61	7
2	V - 2	1177.69	17.447		
3	V - 3	1198.25	17.752		
4	V - 4	1185.78	17.567		
5	V - 5	1196.32	17.723		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 27**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 29**

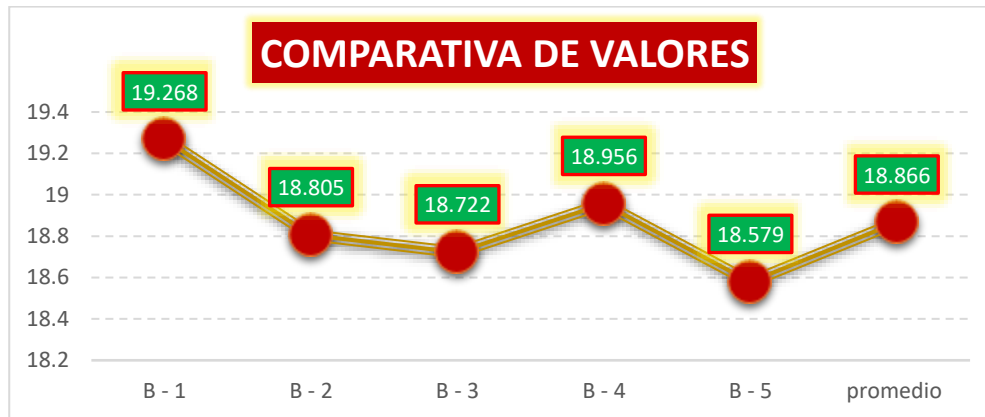
Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1296.24	19.268		
2	V - 2	1269.36	18.805		
3	V - 3	1263.74	18.722	18.87	7
4	V - 4	1279.55	18.956		
5	V - 5	1254.11	18.579		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 28**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**b. Resistencia a la flexión a los 14 días**

**Tabla 30**

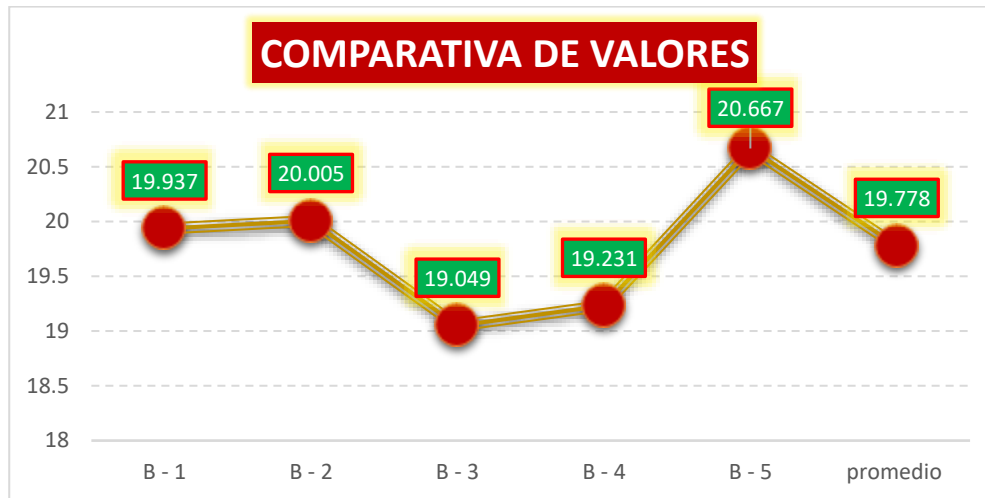
Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio (Kg/cm2)	EDAD
1	V - 1	1341.24	19.937		
2	V - 2	1350.35	20.005		
3	V - 3	1285.81	19.049	19.78	14
4	V - 4	1298.11	19.231		
5	V - 5	1390.35	20.667		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 29**

*Representación gráfica del comportamiento del concreto base*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 31**

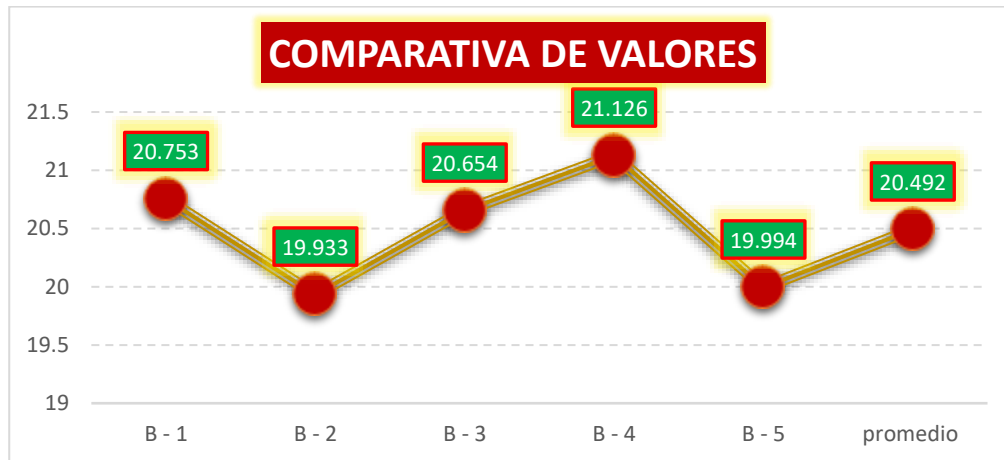
*Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1396.13	20.753		
2	V - 2	1345.46	19.933		
3	V - 3	1394.16	20.654	20.49	14
4	V - 4	1426.02	21.126		
5	V - 5	1349.61	19.994		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 30**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 32**

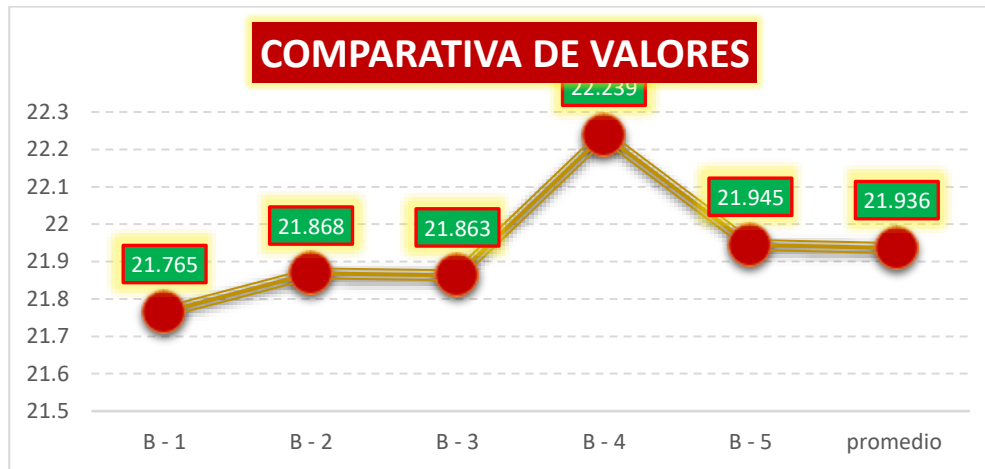
Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm2	Promedio (Kg/cm2)	EDAD
1	V - 1	1464.25	21.765	21.94	14
2	V - 2	1476.09	21.868		
3	V - 3	1475.74	21.863		
4	V - 4	1501.14	22.239		
5	V - 5	1481.29	21.945		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 31**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 33**

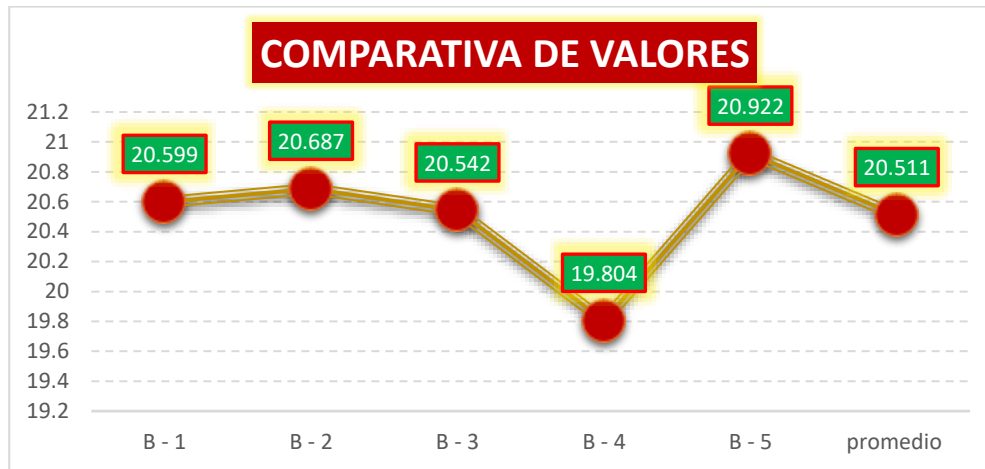
Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1385.78	20.599	20.51	14
2	V - 2	1396.36	20.687		
3	V - 3	1386.58	20.542		
4	V - 4	1336.74	19.804		
5	V - 5	1412.25	20.922		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 32**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 34**

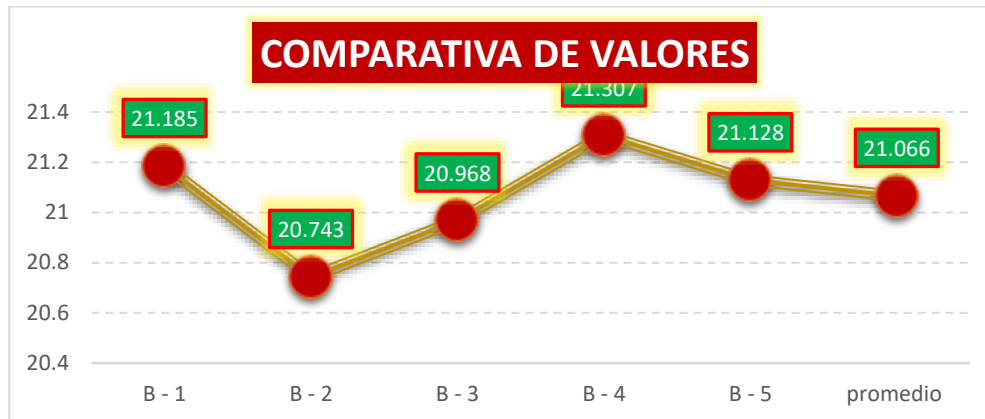
Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1425.22	21.185	21.07	14
2	V - 2	1400.14	20.743		
3	V - 3	1415.35	20.968		
4	V - 4	1438.25	21.307		
5	V - 5	1426.12	21.128		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 33**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

### c. Resistencia a la flexión a los 28 días

**Tabla 35**

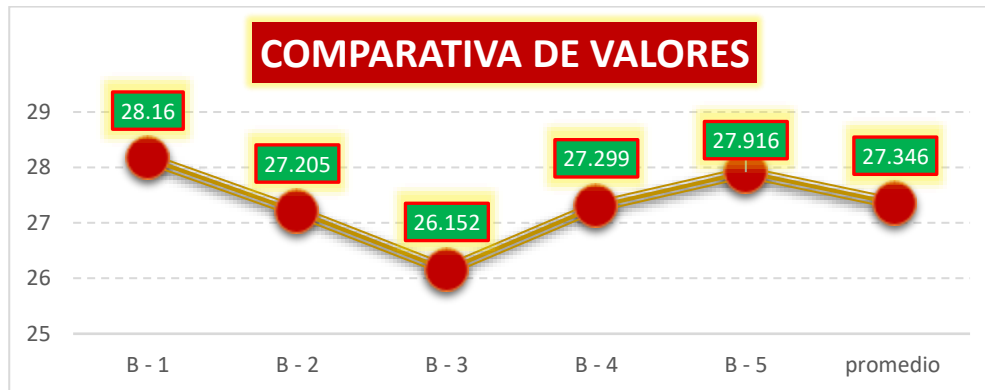
Prototipos convencionales en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio (Kg/cm2)	EDAD
1	V - 1	1894.47	28.160	27.35	28
2	V - 2	1836.35	27.205		
3	V - 3	1765.25	26.152		
4	V - 4	1842.70	27.299		
5	V - 5	1884.36	27.916		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 34**

Representación gráfica del comportamiento del concreto base



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 36**

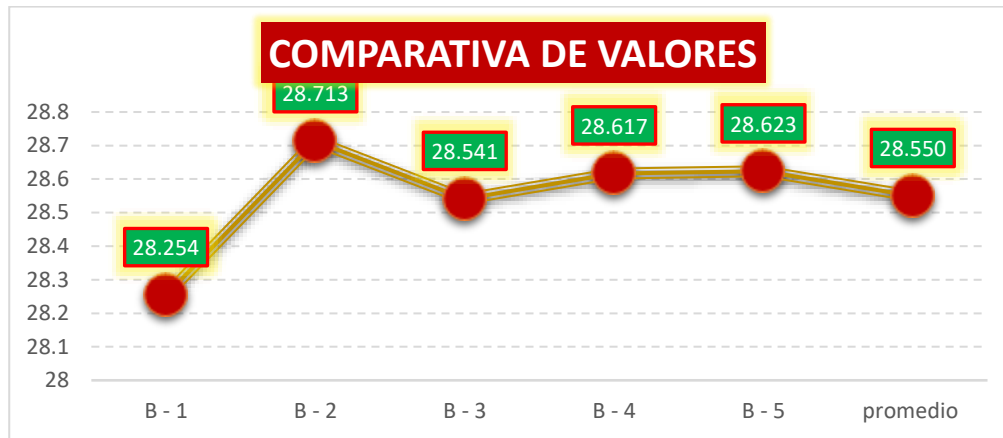
Muestras + micro sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexion (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1900.79	28.254		
2	V - 2	1938.13	28.713		
3	V - 3	1926.49	28.541	28.55	28
4	V - 4	1931.64	28.617		
5	V - 5	1932.02	28.623		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 35**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% micro sílice*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 37**

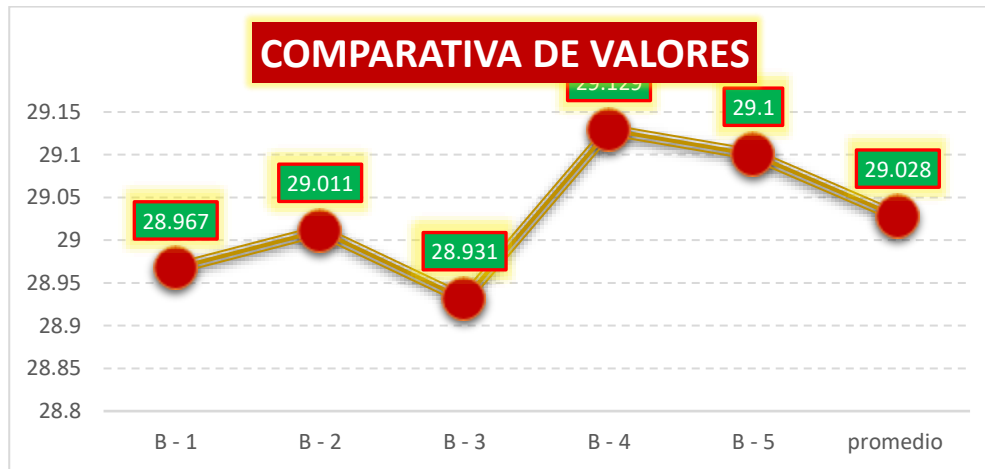
*Muestras + micro sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1948.78	28.967	29.03	28
2	V - 2	1958.25	29.011		
3	V - 3	1952.87	28.931		
4	V - 4	1966.21	29.129		
5	V - 5	1964.25	29.100		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 36**

*Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% micro sílice*



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de micro sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 38**

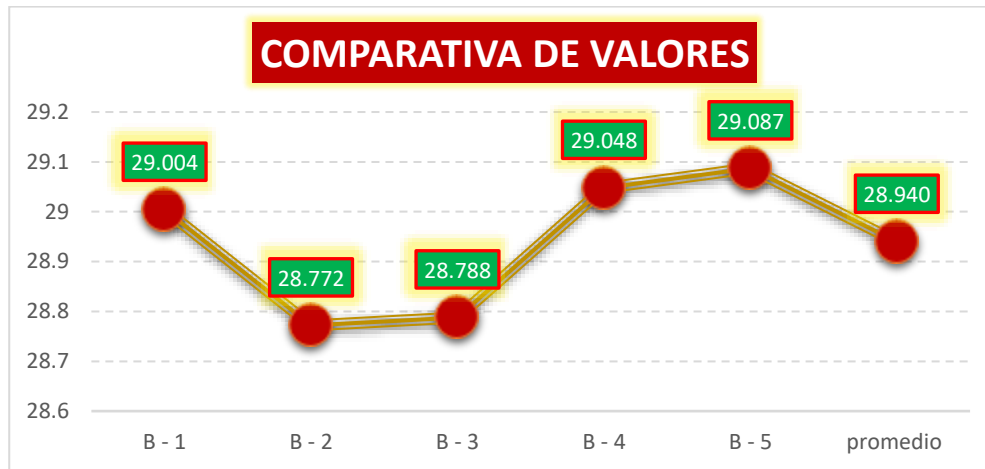
*Muestras + nano sílice 3% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión*

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	1951.25	29.004		
2	V - 2	1942.14	28.772		
3	V - 3	1943.21	28.788	28.94	28
4	V - 4	1960.77	29.048		
5	V - 5	1963.36	29.087		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 37**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 3% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 3% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Tabla 39**

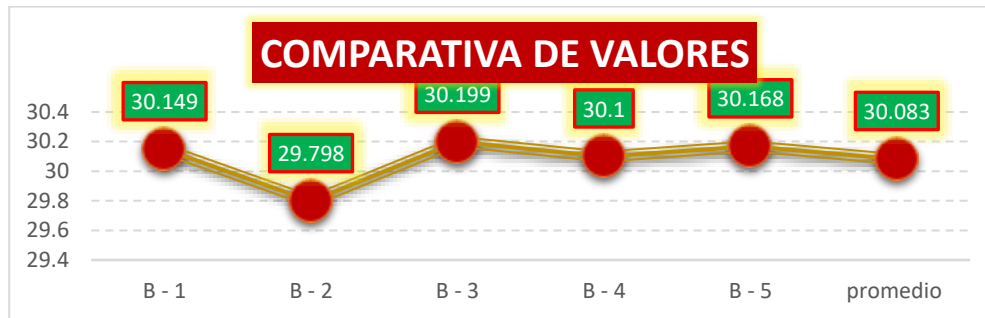
Muestras + nano sílice 5% en las que se efectuaron los test de resistencia a flexión

Nº	MUESTRA	Lectura (kg)	Flexión (Mr) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	EDAD
1	V - 1	2028.25	30.149	30.08	28
2	V - 2	2011.36	29.798		
3	V - 3	2038.41	30.199		
4	V - 4	2031.74	30.100		
5	V - 5	2036.36	30.168		

La tabla presenta los resultados obtenidos en ensayos de resistencia a la flexión realizados sobre especímenes de concreto. Incluye las lecturas de carga aplicadas, los valores calculados de resistencia a la flexión expresados en unidades técnicas y el promedio obtenido para el grupo de especímenes evaluados. Además, se especifica la edad de los especímenes al momento de realizar las pruebas. Estos datos permiten evaluar el desempeño mecánico del concreto en condiciones específicas, proporcionando información esencial para determinar su comportamiento frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

**Figura 38**

Resultados específicos del concreto mostrados en forma gráfica + 5% nano sílice



La gráfica compara los valores de resistencia a la flexión de especímenes de concreto + 5% de nano sílice, mostrando consistencia entre las muestras y una tendencia uniforme en el promedio. Esto indica una homogeneidad en las propiedades mecánicas, validando su desempeño frente a esfuerzos de tracción indirectos en aplicaciones estructurales.

#### d. Cuadros de comparación de las Prototipos con adición del micro y nano sílice

**Tabla 40**

Unidades contrastadas

Muestra	FUERZAS FLEXIONANTES (KG/CM <sup>2</sup> )		
	7días	14días	28días
MP	16.93	19.78	27.35
MP +3% MS	17.80	20.49	28.55
MP +5% MS	18.19	21.94	29.03
MP +3% NS	17.61	20.51	28.94
MP +5% NS	18.87	21.07	30.08

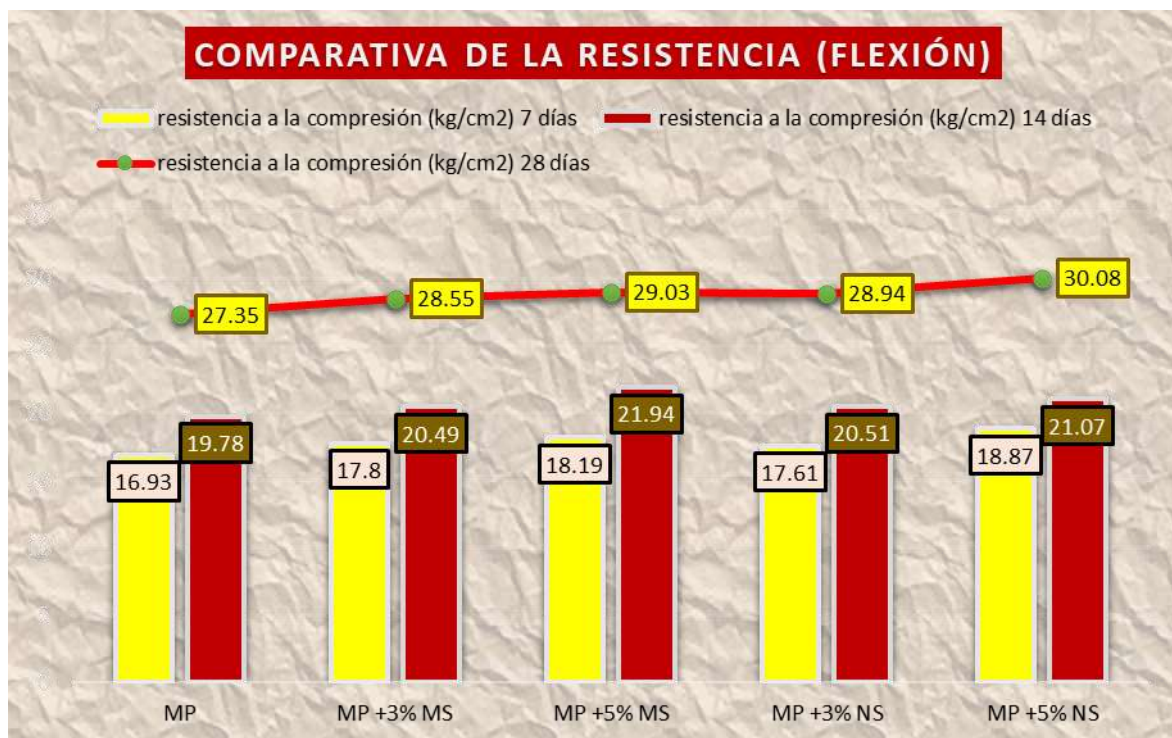
La tabla muestra los valores de fuerzas flexionantes obtenidas en diferentes mezclas de concreto evaluadas a los 7, 14 y 28 días de curado. Las muestras incluyen una mezcla patrón (MP) y otras con adiciones de micro sílice (MS) y nano sílice (NS) en proporciones del 3 % y 5 %. Los valores reflejan la evolución de la resistencia a la flexión en función del tiempo de curado, destacando el impacto positivo de los aditivos en el desempeño mecánico del concreto.

En la mezcla patrón, los valores de resistencia a la flexión aumentan progresivamente con el tiempo, alcanzando su mayor valor a los 28 días. Al incorporar micro sílice al 3 % y 5 %, se observa un incremento en la resistencia a todas las edades, con un desempeño ligeramente superior en la adición del 5 %. Por su parte, las mezclas con nano sílice también muestran mejoras significativas, destacando la adición del 5 %, que logra el valor más alto de resistencia a los 28 días.

Estos resultados evidencian que tanto la micro como la nano sílice contribuyen a mejorar la resistencia a la flexión del concreto, siendo el efecto más notable con la nano sílice en proporciones mayores. La información presentada es clave para determinar la viabilidad de los aditivos en aplicaciones estructurales donde se requieren mayores propiedades mecánicas y durabilidad.

**Figura 39**

*Grafica comparativa de las muestras a través de su proceso de curación*





Los resultados confirman un aumento progresivo en la resistencia a flexión con el tiempo de curado para todas las muestras, siendo las más destacadas aquellas que contienen nano sílice al 5%, con un valor máximo de 30.08 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. El gráfico también revela cómo las mezclas con micro sílice superan a la muestra patrón en todas las edades evaluadas, alcanzando mejoras significativas en la resistencia flexural. La línea que representa los valores de 28 días destaca el impacto positivo de los aditivos puzolánicos, donde la nano sílice demuestra una mayor eficacia debido a su capacidad para mejorar la microestructura y reducir la porosidad. Este comportamiento reafirma la idoneidad de la nano sílice y micro sílice como aditivos para optimizar las propiedades mecánicas del concreto, en particular la resistencia a esfuerzos de flexión, lo que las convierte en materiales clave para aplicaciones en estructuras sometidas a cargas flexurales exigentes.

#### 4.2 Discusión de resultados

Las evaluaciones realizadas para examinar las propiedades mecánicas del hormigón aumentado con microsílíce (MS) y nanosílíce (NS) revelan mejoras significativas en su resistencia a la compresión y a la flexión. Estos hallazgos corroboran estudios anteriores que destacan el impacto ventajoso de los aditivos puzolánicos para aumentar la matriz cementosa, fortalecer la durabilidad y reducir la porosidad interna, promoviendo así el refinamiento microestructural del material.

##### **Fuerza compresiva**

Los ensayos de compresión realizados revelan una notable mejora en las mezclas que incluyen aditivos MS y NS respecto al hormigón maestro (MP). Las mezclas con 5% de microsílíce alcanzaron resistencias que alcanzaron los 222 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, mientras que aquellas con 5% de nanosílíce superaron los 231 kg/cm<sup>2</sup>, superando ampliamente al hormigón estándar, que registró 211 kg/cm<sup>2</sup>. El aumento de la resistencia se atribuye a la reacción puzolánica de los aditivos, que generan un gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) más denso, fortaleciendo la matriz del cemento. La nanosílíce muestra



una eficacia mejorada debido a sus dimensiones a nanoescala, lo que permite una mayor capacidad de llenado e interacciones químicas más significativas dentro de la microestructura.

### **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión demostró mejoras significativas en las mezclas que contienen MS y NS. La adición de un 5% de nanosílice dio como resultado valores de resistencia a la flexión de 30,08 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, en comparación con los 27,35 kg/cm<sup>2</sup> del hormigón convencional. Esta mejora se debe a la capacidad de la nanosílice para mejorar la cohesión interna del hormigón, disminuyendo así los defectos estructurales como huecos y microfisuras, lo que fortalece su resistencia a las tensiones de tracción indirectas. La microsílice, aunque menos reactiva que la nanosílice, mejora estas propiedades al reducir las porosidades y reforzar la estructura interna del hormigón.

### **Evaluación de Eficiencia**

El estudio comparativo revela que la nanosílice mejora notablemente las propiedades mecánicas del hormigón de manera más eficiente que la microsílice, debido a su mayor reactividad y capacidad de relleno a nivel nanométrico. Este comportamiento se corresponde con investigaciones que demuestran la eficacia de la nanosílice para mejorar la densidad de la matriz cementosa y un mejor rendimiento mecánico en aplicaciones estructurales exigentes.

### **Importancia estructural**

Los hallazgos resaltan la capacidad de las mezclas modificadas con MS y NS para producir componentes más eficientes que puedan soportar cargas más altas y resistir deformaciones en estructuras que incluyen puentes, vigas y losas. La mejora de la resistencia a la compresión y a la flexión facilita la optimización del diseño estructural y prolonga la vida útil de las construcciones, lo que conduce a una mayor capacidad de carga y durabilidad en proyectos de infraestructura.

### **Impacto en la sostenibilidad**



La incorporación de micro y nano sílice en el hormigón representa un método eficiente y ecológico para promover la sostenibilidad. La microsílíce, un subproducto industrial, reduce la necesidad de cemento Portland y, por lo tanto, disminuye las emisiones de carbono asociadas con su producción. Además, mejorar la durabilidad del hormigón reduce la necesidad de mantenimiento y reparaciones, disminuyendo así el impacto ambiental durante toda la vida útil de las estructuras.

### **Evaluación concluyente**

Los resultados demuestran que tanto la micro como la nano sílice son adiciones eficaces para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, con una ventaja notablemente pronunciada en mezclas que contienen un 5 % de nano sílice. Este comportamiento, sumado a sus beneficios ecológicos, valida su practicidad en proyectos que exigen alta resistencia y durabilidad, reforzando su importancia en el diseño y construcción de infraestructuras modernas y eficientes.



## CONCLUSIONES

- C.1.** La inclusión de aditivos de micro y nano sílice reduce la trabajabilidad del concreto fresco, como lo demuestra una disminución en los valores de asentamiento en comparación con la mezcla maestra. La formulación con 5% de nanosílice exhibe una notable disminución en la fluidez, lo que indica una mejor cohesión interna y una movilidad reducida del material fresco en comparación con el concreto base.
- C.2.** La inclusión de micro y nano aditivos de sílice mejora significativamente la resistencia a la compresión del hormigón curado. Las formulaciones que incluyen 5% de nanosílice alcanzan resistencias superiores a 231 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días de curado, demostrando una mejora notable en comparación con la resistencia del concreto tradicional, confirmando así la efectividad de estas adiciones para reforzar la matriz de cemento.
- C.3.** La incorporación de micro y nano sílice mejora la resistencia a la flexión del hormigón. Las mezclas aumentadas con un 5 % de nanosílice exhiben un rendimiento notable, logrando resistencias a la flexión de hasta 30,08 kg/cm<sup>2</sup> después de 28 días, reconocidas por su capacidad para soportar cargas de flexión significativas y su idoneidad en aplicaciones estructurales críticas.



### RECOMENDACIONES

- R.1.** Para mitigar la reducción de trabajabilidad causada por la incorporación de aditivos de micro y nano sílice, se recomienda el uso de superplastificantes que optimicen la fluidez del concreto fresco sin comprometer su resistencia ni sus propiedades mecánicas. Esto permitirá mantener una mezcla trabajable adecuada para su colocación y compactación.
- R.2.** Se sugiere emplear nano sílice al 5 % en mezclas destinadas a elementos estructurales que requieran alta resistencia a la compresión, como columnas y cimientos, ya que su capacidad para densificar la matriz cementante asegura un desempeño óptimo incluso en condiciones de carga extremas.
- R.3.** Para proyectos que involucren estructuras sometidas a esfuerzos de flexión, como losas y puentes, se recomienda priorizar el uso de concreto con adiciones de nano sílice al 5 %. Esto garantizará una mayor capacidad de resistencia a cargas dinámicas, incrementando la durabilidad y reduciendo el riesgo de fisuración en el tiempo.



## REFERENCIAS

- Al-Otaibi, S., Al-Aibani, A., Al-Bahar, S., Abdulsalam, M., & Al-Fadala, S. (2019). Potential for producing concrete blocks using sulphur polymeric concrete in Kuwait. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 31(4), 327-331. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2018.02.004>
- Amorós Morote, C. E., & Bendezú Ulloa, J. C. (2019). Diseño de mezcla de concreto permeable para la construcción de la superficie de rodadura de un pavimento de resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626313>
- Aparicio, R., & Andrés, F. (2020). *Caracterización de las propiedades físicas y químicas de los agregados finos y gruesos con mayor demanda en la ciudad de Tunja* [Bachelor thesis]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29821>
- Barboza, A. E. C., Monja, J. L. M., & Pérez, S. P. M. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *INVESTIGATIO*, 16, Article 16. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>
- Cajavilca Choquemamani, J. L., & Calderon Mamani, R. A. (2022). Influencia de la adición de microsílíce en las propiedades físicas y mecánicas para mejorar el concreto, Juliaca – Puno. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110802>
- Condori Canaza, N. M. (2022). Resistencia mecánica de muros de albañilería de bloques de concreto, con nanosilíce y superplastificante, Juliaca, Puno—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92736>
- Cruzado de la Cruz, H. Y., & Rivera Chuñe, B. (2019). *Influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas*. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/13159>



- Estupiñan, D. F. J., & Caballero, J. J. G. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*, 2(1), Article 1.
- Flores Peña, P. (2020). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia con microsílíce y nanosílíce, Lima—2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/52831>
- Gomez Rojas, N. G. (2020, febrero 4). «Metodología de la investigación, ¿para qué?: La producción de los datos y los diseños», Néstor Cohen, Gabriela Gómez Rojas (2020). *Portal de la Comunicación*. <https://incom.uab.cat/portalcon/books/libros/metodologia-de-la-investigacion-para-que-la-produccion-de-los-datos-y-los-disenos-nessor-cohen-gabriela-gomez-rojas-2020/>
- Huang, Q., Zhu, X., Xiong, G., Wang, C., Liu, D., & Zhao, L. (2021). Recycling of crushed waste clay brick as aggregates in cement mortars: An approach from macro- and micro-scale investigation. *Construction and Building Materials*, 274, 122068. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122068>
- Jacinto, Q., & Yovana, R. (2022). Propiedades del concreto hidráulico  $f'_c=280\text{kg/cm}^2$  en pavimentos rígidos con adición de nanotubos de carbono, Arequipa—2022. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92200>
- Lara, J., & Sandro, R. (2022). Efecto de la Incorporación de Nanosilíce para un Concreto Antideslave  $F'C=280\text{ Kg/Cm}^2$  Aplicado a Cimentaciones Profundas con Alto Nivel Freático. *Universidad Peruana Los Andes*. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4954>
- Luque Gonzales, N. G. (2023). Determinación de la resistencia a la compresión en unidades de adobe tradicional y unidades de adobe estabilizado con plumas de pollo en el Distrito de Lampa. *Universidad Andina «Néstor Cáceres Velásquez»*. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/9297>



**ANEXOS**



### Anexo. Matriz de Consistencia

TITULO DE LA TESIS: INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuál es la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román 2024?</p>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Analizar la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román 2024.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>La incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice optimizará las propiedades del concreto hidráulico en la provincia de San Román 2024.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p><i>Tiras de plástico reciclado</i></p> <p><i>M+3% MS</i></p> <p><i>M+5% MS</i></p> <p><i>M+3% NS</i></p> <p><i>M+5% NS</i></p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p>PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRAULICO</p> <p><b>Dimensiones:</b></p> <p><i>Asentamiento</i></p> <p><i>Resistencia a la compresión</i></p> <p><i>Resistencia a la flexión</i></p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio de Concretos.</p>
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
<p>¿Cuál es el efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?</p> <p>¿Cuál es la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024?</p>	<p>Determinar el efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p> <p>Determinar la incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p> <p>Determinar la influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice en la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p>	<p>El efecto de la aplicación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice mantendrán la consistencia de la mezcla fresca de concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p> <p>La incidencia de la adición de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice incrementarán la resistencia a la compresión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p> <p>La influencia de la incorporación de aditivos basados en dispersiones de micro y nanosílice mejorarán la resistencia a la flexión del concreto hidráulico de <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de San Román 2024.</p>		



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**CANTERA** : ISLA - AGREGADO GRUESO  
 ISLA - AGREGADO FINO

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

### ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

#### AGREGADO FINO

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	A -Peso de muestra secada al horno <u>485.85</u> B -Peso de muestra saturada seca (SSS) <u>500.00</u> Wc -Peso del picnómetro con agua <u>1313.12</u> W -Peso del Pic. + muestra + agua <u>1618.15</u>
N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00	
N° 8	107.36	21.47	21.47	78.53	
N° 16	90.85	18.17	39.64	60.36	
N° 30	102.75	20.55	60.19	39.81	<b>PESO ESPECÍFICO</b> Wc+B = <u>1813</u> Wc+B-W = <u>195</u> $Pe = \frac{B}{Wc + B - W} = \frac{500}{1813 - 195} = \underline{2.50} \text{ gr/cm}^3$
N° 50	127.98	25.60	85.79	14.21	<b>ABSORCIÓN</b> B = <u>500.00</u> B-A = <u>14.15</u> $Abs = \frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{14.15 \times 100}{500} = \underline{2.65} \%$
N° 100	43.45	8.69	94.48	5.52	
N° 200	9.69	1.94	96.42	3.58	
FONDO	17.91	3.58	100.00	0.00	
SUMA	500.00	100.00			
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico					
Mf = MÓDULO DE FINEZA				3.02	

#### AGREGADO GRUESO

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro
2"	0	0.00	0.00	100.00	A -Peso de muestra secada al horno <u>784.64</u> B -Peso de muestra saturada seca (SSS) <u>800.00</u> Wc -Peso del picnómetro con agua <u>1313.12</u> W -Peso del Pic. + muestra + agua <u>1799.52</u>
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	
1"	271	7.74	7.74	92.26	
3/4"	527	15.06	22.80	77.20	
1/2"	1040	29.71	52.51	47.49	<b>PESO ESPECÍFICO</b> Wc+B = <u>2113</u> Wc+B-W = <u>314</u> $Pe = \frac{B}{Wc + B - W} = \frac{800}{2113 - 314} = \underline{2.52} \text{ gr/cm}^3$
3/8"	552	15.77	68.29	31.71	<b>ABSORCIÓN</b> B = <u>800.00</u> B-A = <u>15.36</u> $Abs = \frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{15.36 \times 100}{800} = \underline{1.87} \%$
N° 4	0	0.00	68.29	31.71	
N° 8	1110	31.71	100.00	0.00	
FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00	
SUMA	3500.00	100.00			
Observaciones sobre el Análisis Granulométrico					

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN VELÁSQUEZ"  
 FICP - CARB. INGENIERÍA CIVIL  
 Mtro. Arnaldo Yano Torres  
 CIP: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## DISEÑO DE MEZCLA $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN  
**CANTERA** : ISLA- AGREGADO GRUESO  
: ISLA- AGREGADO FINO  
**UBICACIÓN** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV  
**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

### PROCESO DE DISEÑO:

NORMAS: ACI 211.1.74

ACI 211.1.81

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión  $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$  a los 28 días  
entonces la resistencia promedio  $F'cr = 294 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).

SE UTILIZARA EL CEMENTO RUMI TIPO IP

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible, el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de: **3/4" (19.05mm)**

Además se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

### RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.52	2.50
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1571	1694
P.U. Suelto	1412	1634
% de Absorción	1.87	2.65
% de Humedad Natural	2.30	5.26
Modulo de Fineza	-	3.02

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

1. El asentamiento dado es de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).
2. Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nominal **3/4" (19.05mm)**.
3. Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: **205 Lt/m<sup>3</sup>**
4. Como el concreto estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de: **2.0 %**
5. Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces las relación agua/cemento (a/c) será de: **0.56**
6. De acuerdo a la información obtenida en los ítems 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:  
 $( 205 \text{ Lt/m}^3 ) / ( 0.56 ) = 366 \text{ Kg/m}^3$



*Mgty. Arinaldo Yano Torres*  
CIP: 103787



7. De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.02 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1571 Kg/m<sup>3</sup> y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.592 m<sup>3</sup> de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto.

Por tanto el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.5923) \cdot (1571) = 930 \text{ Kg/m}^3$$

8. Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m<sup>3</sup> de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de agua} &= (205) / (1000) = 0.205 \\ \text{Volumen absoluto de cemento} &= (366) / (2.88 \cdot 1000) = 0.127 \\ \text{Volumen absoluto de agregado grueso} &= (930) / (2.53 \cdot 1000) = 0.368 \\ \text{Volumen de aire atrapado} &= (2.0) / (100) = 0.020 \\ \text{Volumen sub total} &= 0.720 \end{aligned}$$

Volumen absoluto de arena

$$\text{Por tanto el peso requerido de arena seca será de: } = (1.000 - 0.720) = 0.280 \text{ m}^3$$

$$(0.280) \cdot (2.50) \cdot 1000 = 700 \text{ Kg/m}^3$$

9. De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidas los pesos de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso húmedo} &= (930) \cdot (1.023039) = 952 \text{ Kg.} \\ \text{Agregado Fino húmedo} &= (700) \cdot (1.0526) = 737 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

10. El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 930 \cdot \left( \frac{2.30 - 1.87}{100} \right) - 700 \left( \frac{5.26 - 2.65}{100} \right) = 183$$

### DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (Kg/m <sup>3</sup> )	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO SECO	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO (Kg/m <sup>3</sup> )	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO HÚMEDO
Cemento	366	1.00	366	1.00
Agua	205	0.56	183	0.50
Agreg. Grueso	930	2.54	952	2.60
Agreg. Fino	700	1.91	737	2.01
Aire	2.0 %		2.0 %	

### 8.61 BOLSAS / m<sup>3</sup> DE CEMENTO

#### DOSIFICACIÓN POR PESO:

Cemento	42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	85.59 Kg.
Agregado grueso húmedo	110.51 Kg.
Agua efectiva	21.21 Kg.



*Mery Arvaldo Yana Torres*  
CIPR 103257



### DOSIFICACIÓN POR TANDAS:

Para Mezcladora de 9 pies<sup>3</sup>

<b>1.0</b> Bolsa de Cemento:	<b>Redondeo</b>
<b>1.85</b> p3 de Arena	<b>1.9</b> p3 de Arena
<b>2.77</b> p3 de Piedra Chancada	<b>2.8</b> p3 de Piedra Chancada
<b>21</b> Lt de Agua	<b>21</b> Lt de Agua

### RECOMENDACIONES

Debido a las características de los agregados, se recomienda que la dosificación tanto de la arena como de la grava se realice en forma separada, tal como se indica en el ítem DOSIFICACIÓN POR TANDAS.

\* Se deba de hacer las correcciones del W% del A.F. y A.G.

### OBSERVACIONES:

\* LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN EL LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ  
FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Mgtr. Arnaldo Yano Torres  
C.I.P. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C.33

**PROYECTO:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

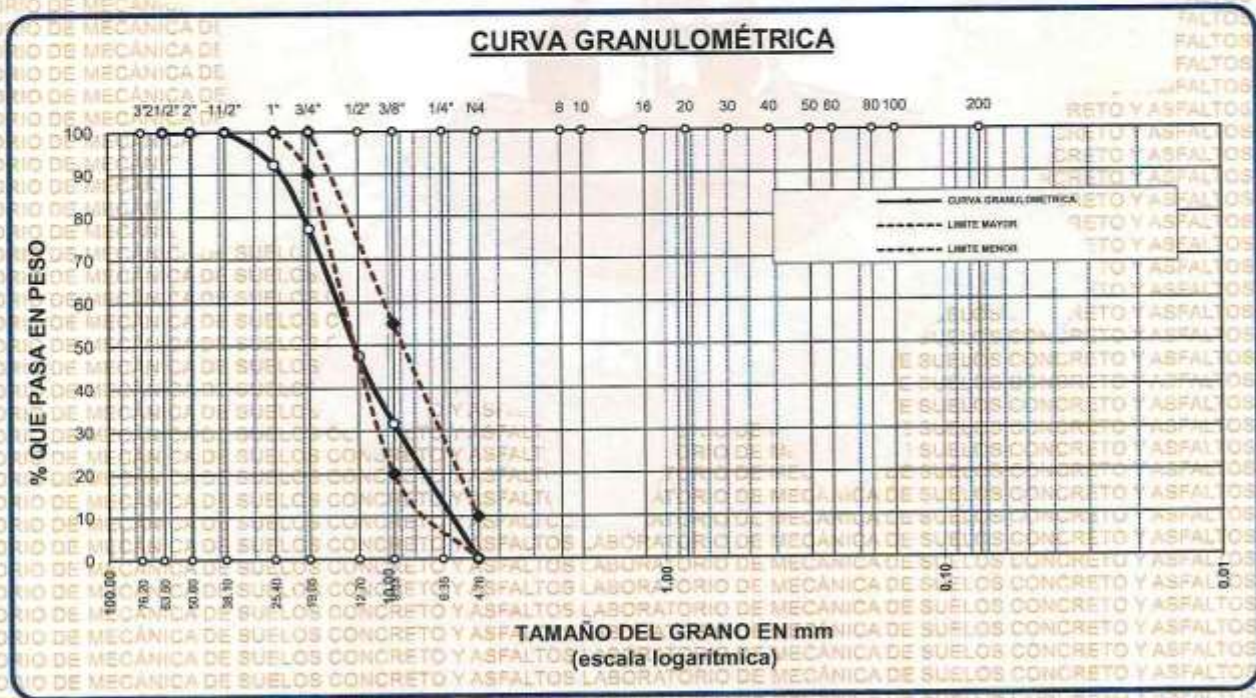
**CANTERA:** ISLA - AGREGADO GRUESO

**LUGAR:** LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

**FECHA:** 26 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	100 % 90 - 100 % 20 - 55 % 0 - 10 %	Peso Inicial = 3500 gr Tamaño máx. nominal = 3/4"
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	271.00	7.74	7.74	92.26		
3/4"	19.050	527.00	15.06	22.80	77.20		
1/2"	12.700	1040.00	29.71	52.51	47.49		
3/8"	9.525	552.00	15.77	68.29	31.71		
1/4"	6.350	1110.00	31.71	100.00	0.00		
No4	4.760	0.00	0.00	100.0	0.0		
<b>BASE</b>		0.00	0.00	100.0	0.0		
<b>TOTAL</b>		3500.00	100.00				
<b>%PERDIDA</b>		0.00					

OBSERVACIONES:



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL  
 Laboratorio M.S.C.A.  
 Ing. Arnaldo Yana Torres  
 CIP. 10327

BIE: 8006 - 00304505



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

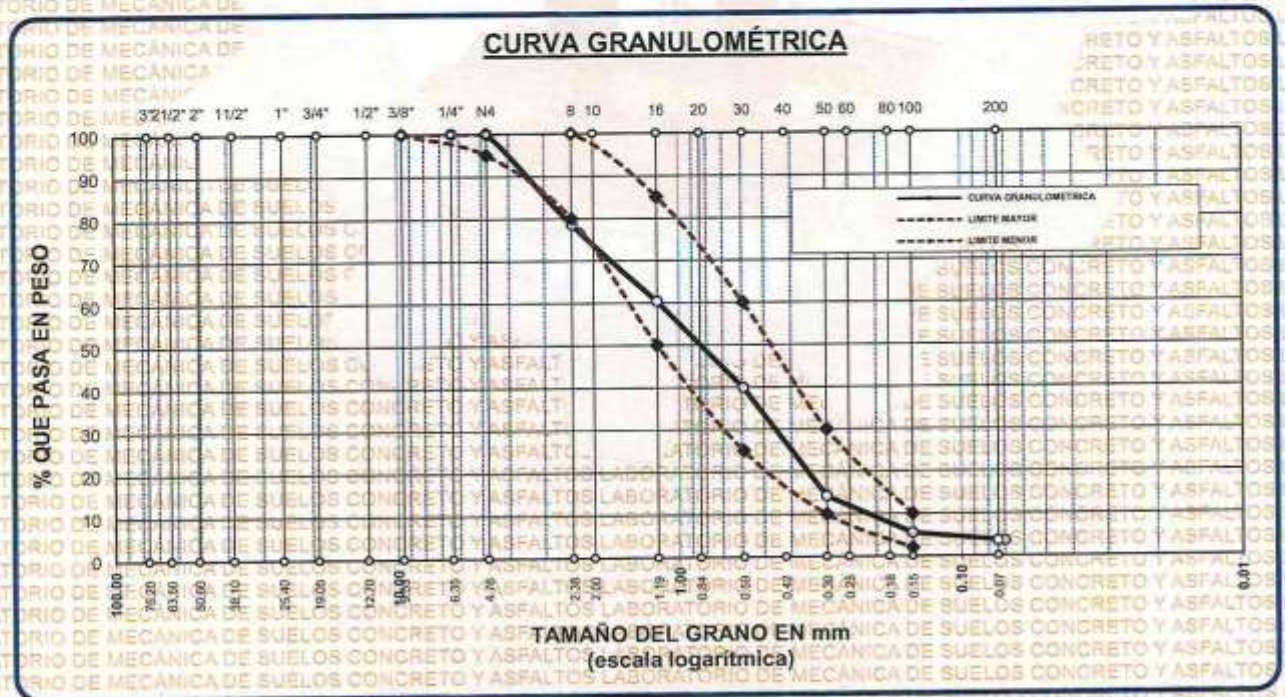


### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS-MARIN  
**CANTERA** : ISLA - AGREGADO FINO  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV  
**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO	%RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr. Módulo de Fineza = 3.02 OBSERVACIONES:
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100 %	
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	80 - 100 %	
No8	2.380	107.36	21.47	21.47	78.53		
No10	2.000					50 - 85 %	
No16	1.190	90.86	18.17	39.64	60.36		
No20	0.840					25 - 60 %	
No30	0.590	102.75	20.55	60.19	39.81		
No40	0.420					10 - 30 %	
No 50	0.300	127.98	25.60	85.79	14.21		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	43.45	8.69	94.48	5.52	2-10%	
No200	0.074	9.69	1.94	96.42	3.58		
BASE		17.91	3.58	100	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA		3.58					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAD INGENIERÍA CIVIL  
 Mgr. Armando Yano Torres  
 DNI: 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C- 29 AASHTO T - 19

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN  
**CANTERA** : ISLA - AGREGADO GRUESO  
: ISLA - AGREGADO FINO  
**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV  
**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO FINO (SUELTO)			
PESO DEL MOLDE	5931 gr	5931 gr	5931 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2121 cm <sup>3</sup>	2121 cm <sup>3</sup>	2121 cm <sup>3</sup>
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	9468.00 gr	9445.00 gr	9278.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	3537.00 gr	3514.00 gr	3347.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.668 gr/cm <sup>3</sup>	1.657 gr/cm <sup>3</sup>	1.578 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.634 gr/cm <sup>3</sup>		

DENSIDAD MINIMA AGREGADO FINO (VARILLADO)			
PESO DEL MOLDE	5931 gr	5931 gr	5931 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2121 cm <sup>3</sup>	2121 cm <sup>3</sup>	2121 cm <sup>3</sup>
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9445.00 gr	9535.00 gr	9589.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3514.00 gr	3604.00 gr	3658.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.657 gr/cm <sup>3</sup>	1.699 gr/cm <sup>3</sup>	1.725 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.694 gr/cm <sup>3</sup>		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
EXCP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
Mgtr. Argandoña Torres  
CIP 115257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**CANTERA** : ISLA - AGREGADO GRUESO

: ISLA - AGREGADO FINO

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

DENSIDAD MINIMA AGREGADO GRUESO(SUELTO)			
PESO DEL MOLDE	7105 gr	7105 gr	7105 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3239 cm <sup>3</sup>	3239 cm <sup>3</sup>	3239 cm <sup>3</sup>
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	11642.00 gr	11635.00 gr	11757.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	4537.00 gr	4530.00 gr	4652.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.401 gr/cm <sup>3</sup>	1.399 gr/cm <sup>3</sup>	1.436 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.412 gr/cm <sup>3</sup>		

DENSIDAD MINIMA AGREGADO GRUESO(VARILLADO)			
PESO DEL MOLDE	7105 gr	7105 gr	7105 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3239 cm <sup>3</sup>	3239 cm <sup>3</sup>	3239 cm <sup>3</sup>
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	12369.00 gr	12035.00 gr	12175.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	5264.00 gr	4930.00 gr	5070.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.625 gr/cm <sup>3</sup>	1.522 gr/cm <sup>3</sup>	1.565 gr/cm <sup>3</sup>
PROMEDIO	1.571 gr/cm <sup>3</sup>		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
 M.S.C. PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN  
 CIP: 1000257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



## CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216 MTC E108-2000

**PROYECTO** : INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE** : BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**CANTERA** : ISLA - AGREGADO GRUESO

**LUGAR** : ISLA - AGREGADO FINO

**LUGAR** : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

**FECHA** : 26 DE AGOSTO DEL 2024

### MUESTRA : AGREGADO FINO

N° DE TARRO	1
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	346.13
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	331.39
PESO DEL TARRO (gr.)	51.27
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	294.86
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	280.12
PESO DEL AGUA (gr.)	14.74
% HUMEDAD	5.26

### MUESTRA : AGREGADO GRUESO

N° DE TARRÓ	2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	433.75
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	425.32
PESO DEL TARRO (gr.)	59.42
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	374.33
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	365.90
PESO DEL AGUA (gr.)	8.43
% HUMEDAD	2.30

**OBSERVACIONES:**

\* LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



*Armando Yama Forras*  
MTC E108-2000



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

**TEMA**

INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024.

**SOLICITANTE**

BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**LUGAR**

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

**FECHA**

26 - AGOSTO - 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	24975	15.01	176.95	141.14	210	26/08/2024	02/09/2024	7	67.21
2	B - 2	24765	14.98	176.24	140.52	210	26/08/2024	02/09/2024	7	66.91
3	B - 3	24852	15.01	176.95	140.45	210	26/08/2024	02/09/2024	7	66.88
4	B - 4	24650	14.98	176.24	139.87	210	26/08/2024	02/09/2024	7	66.60
5	B - 5	24742	15.01	176.95	139.82	210	26/08/2024	02/09/2024	7	66.58
Promedio De Esf. Rotura					140.36					66.84

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	33597	15.01	176.95	189.87	210	26/08/2024	09/09/2024	14	90.41
2	B - 2	33845	15.01	176.95	191.27	210	26/08/2024	09/09/2024	14	91.08
3	B - 3	33965	14.98	176.24	192.72	210	26/08/2024	09/09/2024	14	91.77
4	B - 4	33754	14.98	176.24	191.52	210	26/08/2024	09/09/2024	14	91.20
5	B - 5	33974	15.01	176.95	192.00	210	26/08/2024	09/09/2024	14	91.43
Promedio De Esf. Rotura					191.48					91.18

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	37412	15.01	176.95	211.43	210	26/08/2024	23/09/2024	28	100.68
2	B - 2	37267	15.01	176.95	210.61	210	26/08/2024	23/09/2024	28	100.29
3	B - 3	37345	15.01	176.95	211.05	210	26/08/2024	23/09/2024	28	100.50
4	B - 4	37541	14.98	176.24	213.01	210	26/08/2024	23/09/2024	28	101.43
5	B - 5	37241	15.01	176.95	210.46	210	26/08/2024	23/09/2024	28	100.22
Promedio De Esf. Rotura					211.31					100.62

**OBSERVACIONES:**

1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERÓN MOLDEADOS POR EL BACHILLER



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP INGENIERÍA CIVIL  
 Mgtr. Denalizo Yana Torres  
 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚBICAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN  
**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA  
**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 3% DE MICRO SÍLICE

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm <sup>2</sup>	ESF. ROTURA Kg/cm <sup>2</sup>	F' C Kg/cm <sup>2</sup>	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	%
1	B - 1	25441	15.01	176.95	143.78	210	26/08/2024	02/09/2024	7	68.46
2	B - 2	25452	15.01	176.95	143.84	210	26/08/2024	02/09/2024	7	68.49
3	B - 3	25746	14.98	176.24	146.08	210	26/08/2024	02/09/2024	7	69.56
4	B - 4	25654	14.98	176.24	145.56	210	26/08/2024	02/09/2024	7	69.32
5	B - 5	25642	15.01	176.95	144.91	210	26/08/2024	02/09/2024	7	69.01
Promedio De Esf. Rotura:					144.83					68.97

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm <sup>2</sup>	ESF. ROTURA Kg/cm <sup>2</sup>	F' C Kg/cm <sup>2</sup>	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	%
1	B - 1	35012	15.01	176.95	197.86	210	26/08/2024	09/09/2024	14	94.22
2	B - 2	34987	15.01	176.95	197.72	210	26/08/2024	09/09/2024	14	94.15
3	B - 3	34879	15.01	176.95	197.11	210	26/08/2024	09/09/2024	14	93.86
4	B - 4	35101	15.01	176.95	198.37	210	26/08/2024	09/09/2024	14	94.46
5	B - 5	35027	15.01	176.95	197.95	210	26/08/2024	09/09/2024	14	94.26
Promedio De Esf. Rotura:					197.80					94.19

Nº	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA Kg	Ø cm	AREA cm <sup>2</sup>	ESF. ROTURA Kg/cm <sup>2</sup>	F' C Kg/cm <sup>2</sup>	FECHA VACIADO	FECHA ROTURA	EDAD DÍAS	%
1	B - 1	38645	15.01	176.95	218.40	210	26/08/2024	23/09/2024	28	104.00
2	B - 2	38754	14.98	176.24	219.89	210	26/08/2024	23/09/2024	28	104.71
3	B - 3	38654	15.01	176.95	218.45	210	26/08/2024	23/09/2024	28	104.02
4	B - 4	38741	15.01	176.95	218.94	210	26/08/2024	23/09/2024	28	104.26
5	B - 5	38625	15.01	176.95	218.28	210	26/08/2024	23/09/2024	28	103.94
Promedio De Esf. Rotura:					218.79					104.19

**OBSERVACIONES:**  
 1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚBICAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 Mtro. Arnaldo Yano Torres  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

**FECHA:** 26- AGOSTO - 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 5% DE MICRO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	26325	15.01	176.95	148.77	210	26/08/2024	02/09/2024	7	70.84
2	B - 2	26759	15.01	176.95	151.22	210	26/08/2024	02/09/2024	7	72.01
3	B - 3	26579	15.01	176.95	150.21	210	26/08/2024	02/09/2024	7	71.53
4	B - 4	26412	15.01	176.95	149.26	210	26/08/2024	02/09/2024	7	71.08
5	B - 5	26352	15.01	176.95	148.92	210	26/08/2024	02/09/2024	7	70.92
Promedio De Esf. Rotura					149.68					71.27

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	35978	15.01	176.95	203.32	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.82
2	B - 2	35854	15.01	176.95	202.62	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.49
3	B - 3	35875	15.01	176.95	202.74	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.54
4	B - 4	35659	15.01	176.95	201.52	210	26/08/2024	09/09/2024	14	95.96
5	B - 5	35625	15.01	176.95	201.33	210	26/08/2024	09/09/2024	14	95.87
Promedio De Esf. Rotura					202.31					96.34

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	39516	15.01	176.95	223.32	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.34
2	B - 2	39262	15.01	176.95	221.88	210	26/08/2024	23/09/2024	28	105.66
3	B - 3	39474	15.01	176.95	223.08	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.23
4	B - 4	39245	14.98	176.24	222.68	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.04
5	B - 5	39579	15.01	176.95	223.67	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.51
Promedio De Esf. Rotura					222.93					106.16

OBSERVACIONES:  
 1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FICP - CAP. INGENIERÍA CIVIL

Walter Arnulfo Yana Torres  
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 3% DE NANO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B-1	26096	15.01	176.95	147.48	210	26/08/2024	02/09/2024	7	70.23
2	B-2	26387	15.01	176.95	149.12	210	26/08/2024	02/09/2024	7	71.01
3	B-3	26794	15.01	176.95	151.42	210	26/08/2024	02/09/2024	7	72.11
4	B-4	26316	15.01	176.95	148.72	210	26/08/2024	02/09/2024	7	70.82
5	B-5	26395	15.01	176.95	149.17	210	26/08/2024	02/09/2024	7	71.03
Promedio De Esf. Rotura					149.18					71.04

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B-1	35846	15.01	176.95	202.58	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.47
2	B-2	35395	15.01	176.95	200.03	210	26/08/2024	09/09/2024	14	95.25
3	B-3	35933	15.01	176.95	203.07	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.70
4	B-4	35769	14.98	176.24	202.96	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.65
5	B-5	35957	15.01	176.95	203.20	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.76
Promedio De Esf. Rotura					202.37					96.37

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B-1	39265	15.01	176.95	221.90	210	26/08/2024	23/09/2024	28	105.67
2	B-2	39402	15.01	176.95	222.67	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.03
3	B-3	39625	15.01	176.95	223.93	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.63
4	B-4	39525	14.98	176.24	224.27	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.79
5	B-5	39414	15.01	176.95	222.74	210	26/08/2024	23/09/2024	28	106.07
Promedio De Esf. Rotura					223.10					106.24

**OBSERVACIONES:**

1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER

Mtr. Arnaldo Yana Torres  
 CIP: 103257



BIE: B006-00304505



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CACERES VELASQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN  
**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA  
**FECHA:** 26 - AGOSTO - 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 5% DE NANO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%	
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS		
1	B-1	28065	15.01	176.95	158.60	210	26/08/2024	02/09/2024	7	75.53	
2	B-2	27832	15.01	176.95	157.29	210	26/08/2024	02/09/2024	7	74.90	
3	B-3	27744	15.01	176.95	156.79	210	26/08/2024	02/09/2024	7	74.66	
4	B-4	27977	15.01	176.95	158.11	210	26/08/2024	02/09/2024	7	75.29	
5	B-5	27847	15.01	176.95	157.37	210	26/08/2024	02/09/2024	7	74.94	
Promedio De Esf. Rotura					157.63						75.06

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%	
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS		
1	B-1	36468	15.01	176.95	206.09	210	26/08/2024	09/09/2024	14	98.14	
2	B-2	36735	15.01	176.95	207.60	210	26/08/2024	09/09/2024	14	98.86	
3	B-3	36125	15.01	176.95	204.15	210	26/08/2024	09/09/2024	14	97.22	
4	B-4	36374	14.98	176.24	206.39	210	26/08/2024	09/09/2024	14	95.28	
5	B-5	35998	15.01	176.95	203.44	210	26/08/2024	09/09/2024	14	96.87	
Promedio De Esf. Rotura					205.53						97.87

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%	
		Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	VACIADO	ROTURA	DIAS		
1	B-1	40874	15.01	176.95	230.99	210	26/08/2024	23/09/2024	28	110.00	
2	B-2	40935	15.01	176.95	231.34	210	26/08/2024	23/09/2024	28	110.16	
3	B-3	41245	15.01	176.95	233.09	210	26/08/2024	23/09/2024	28	110.99	
4	B-4	41001	14.98	176.24	232.64	210	26/08/2024	23/09/2024	28	110.78	
5	B-5	40981	15.01	176.95	231.60	210	26/08/2024	23/09/2024	28	110.28	
Promedio De Esf. Rotura					231.93						110.44

**OBSERVACIONES:**  
1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP 103252





UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024  
**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARINI  
**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA  
**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION VIGA PATRON

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1109.01	16.485	16.93	26/08/2024	02/09/2024	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1175.45	17.414		26/08/2024	02/09/2024	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1072.78	15.946		26/08/2024	02/09/2024	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1176.75	17.492		26/08/2024	02/09/2024	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1169.58	17.327		26/08/2024	02/09/2024	7
						16.933				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1341.24	19.937	19.78	26/08/2024	09/09/2024	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1350.35	20.005		26/08/2024	09/09/2024	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1285.81	19.049		26/08/2024	09/09/2024	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1298.11	19.231		26/08/2024	09/09/2024	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1390.35	20.667		26/08/2024	09/09/2024	14
						19.778				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1894.47	28.160	27.35	26/08/2024	23/09/2024	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1836.35	27.205		26/08/2024	23/09/2024	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1765.25	26.152		26/08/2024	23/09/2024	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1842.70	27.299		26/08/2024	23/09/2024	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1884.36	27.916		26/08/2024	23/09/2024	28
						27.347				

OBSERVACIONES:  
1- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER

Mgtr. Arnaldo Yana Torres  
CIP. 103257





UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARINI

**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 3% DE MICRO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1248.74	18.562	17.80	26/08/2024	02/09/2024	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1188.25	17.604		26/08/2024	02/09/2024	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1167.36	17.294		26/08/2024	02/09/2024	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1179.25	17.470		26/08/2024	02/09/2024	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1220.86	18.087		26/08/2024	02/09/2024	7
						17.803				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1396.13	20.753	20.49	26/08/2024	09/09/2024	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1345.46	19.933		26/08/2024	09/09/2024	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1394.16	20.654		26/08/2024	09/09/2024	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1426.02	21.126		26/08/2024	09/09/2024	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1349.61	19.994		26/08/2024	09/09/2024	14
						20.492				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura -dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1900.79	28.254	28.55	26/08/2024	23/09/2024	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1938.13	28.713		26/08/2024	23/09/2024	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1926.49	28.541		26/08/2024	23/09/2024	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1931.64	28.617		26/08/2024	23/09/2024	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1932.02	28.623		26/08/2024	23/09/2024	28
						28.549				

OBSERVACIONES:  
 1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER

Ing. Yana Torres  
 CIP 300257





UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARINI  
**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA  
**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 5% DE MICRO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1195.14	17.765	18.19	26/08/2024	02/09/2024	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1248.26	18.508		26/08/2024	02/09/2024	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1196.63	17.728		26/08/2024	02/09/2024	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1296.23	19.203		26/08/2024	02/09/2024	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1199.26	17.767		26/08/2024	02/09/2024	7
						18.194				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1464.25	21.765	21.94	26/08/2024	09/09/2024	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1476.08	21.868		26/08/2024	09/09/2024	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1475.74	21.863		26/08/2024	09/09/2024	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1501.14	22.239		26/08/2024	09/09/2024	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1481.29	21.945		26/08/2024	09/09/2024	14
						21.936				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura del dial (kg)	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1948.78	28.967	29.03	26/08/2024	23/09/2024	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1958.25	29.011		26/08/2024	23/09/2024	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1952.87	28.931		26/08/2024	23/09/2024	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1966.21	29.129		26/08/2024	23/09/2024	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1964.25	29.100		26/08/2024	23/09/2024	28
						29.028				

OBSERVACIONES:  
 1- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER

Mgr. Yanina Torres  
 CIP 103257





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CERÓN CABRER" S.A. DE SUELOS  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

**TEMA:** INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRAULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**SOLICITANTE:** BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARINI

**LUGAR:** LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV JULIACA

**FECHA:** 26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 3% DE NANO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1182.75	17.581	17.61	26/08/2024	02/09/2024	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1177.69	17.447		26/08/2024	02/09/2024	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1198.25	17.752		26/08/2024	02/09/2024	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1185.78	17.567		26/08/2024	02/09/2024	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1196.32	17.723		26/08/2024	02/09/2024	7
						17.614				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1385.78	20.599	20.51	26/08/2024	09/09/2024	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1396.36	20.687		26/08/2024	09/09/2024	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1386.58	20.542		26/08/2024	09/09/2024	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1336.74	19.804		26/08/2024	09/09/2024	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1412.25	20.922		26/08/2024	09/09/2024	14
						20.511				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1951.25	29.004	28.94	26/08/2024	23/09/2024	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1942.14	28.772		26/08/2024	23/09/2024	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1943.21	28.788		26/08/2024	23/09/2024	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1980.77	29.048		26/08/2024	23/09/2024	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1963.36	29.087		26/08/2024	23/09/2024	28
						28.940				

OBSERVACIONES:  
1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS  
M.S.C.A.  
Metr. Armando Yano Torres  
C.I.F. 103257

BIE: B006 - 00304505



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2024

**TEMA**

**SOLICITANTE**

BACHILLER PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

**LUGAR**

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

**FECHA**

26 AGOSTO 2024

### PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 5% DE NANO SÍLICE

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1296.24	19.268	18.87	26/08/2024	02/09/2024	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1269.36	18.805		26/08/2024	02/09/2024	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1263.74	18.722		26/08/2024	02/09/2024	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1279.55	18.956		26/08/2024	02/09/2024	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1254.11	18.579		26/08/2024	02/09/2024	7
						18.866				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1425.22	21.185	21.07	26/08/2024	09/09/2024	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1400.14	20.743		26/08/2024	09/09/2024	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1415.35	20.968		26/08/2024	09/09/2024	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1438.25	21.307		26/08/2024	09/09/2024	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1426.12	21.128		26/08/2024	09/09/2024	14
						21.066				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	2028.25	30.149	30.08	26/08/2024	23/09/2024	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	2011.36	29.798		26/08/2024	23/09/2024	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	2038.41	30.199		26/08/2024	23/09/2024	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	2031.74	30.100		26/08/2024	23/09/2024	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	2036.36	30.168		26/08/2024	23/09/2024	28
						30.083				

**OBSERVACIONES:**

1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER



*Metr. Arnelida Ana Torres*  
 C.P. 103287

BIE: B006-00304505



ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital

Fecha de entrega: 02-01-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: PERCY JOSIMAR RAMOS MARIN

Dirección: Jr. SALAVERRY 216

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 44796492

Teléfono: 930 594 577 email: josimar.ramosmarin@gmail.com

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

Dirección: \_\_\_\_\_

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

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

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

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE ADITIVOS BASADOS EN DISPERSIONES

DE MICRO Y NANOSÍLICE EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

HIDRÁULICO EN LA PROVINCIA DE SAN ROMAN 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): EVALUACIÓN, COMPRESIÓN, NANO SÍLICE, MICRO SÍLICE

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

1

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

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



2. Referencia de tesis:

- Bachiller  Título  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

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

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

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

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

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

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

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

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

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

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

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

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

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

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

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

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

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17

Firma de Autor



huella digital

24-12-2024

Fecha