

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE
LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA, Y
DURABILIDAD DEL CONCRETO $F'C = 280$
KG/CM² CON CEMENTO TIPO I Y V
ANTISALITRE EN CAJABAMBA, CAJAMARCA,
2024”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Jhon Deyvis Vargas Avila

Asesor:

Mg. Lic. Nixon Brayan Peche Melo

<https://orcid.org/0000-0002-4690-3518>

Trujillo - Perú

2024


JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Jvan Jovanovic Aguirre
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Katia Nataly Carrión Rabanal
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Nixon Brayan Peche Melo
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud

 **turnitin** Página 2 of 281 - Integrity Overview Identificador de la entrega trn:oid::1:3240819455




19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Small Matches (less than 8 words)

Top Sources

- 21%  Internet sources
- 9%  Publications
- 13%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review
No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Dedicatoria

Este trabajado se lo dedicó a Dios, que con su sentido de iluminación nos ayuda a ser mejores personas. Por otro lado, a padres con el gran apoyo económico, moral que nos otorgan el día a día, que nos permiten ser mejores personas. Asimismo, a la Universidad quien nos ha permitido llevar los cocimientos necesarios; con el ayuda de sus docentes, quienes nos permiten llevar el conocimiento y poder darle aplicación en la solución de problemas de nuestro país

Jhon Deyvis, Vargas Avila

Agradecimiento

En esta ocasión, me siento gratamente agradecido por las personas e Instituciones que ha sumada a mi desarrollo personal en especial a mis padres por ese esfuerzo significativo para cumplir con mis objetivos. Por otro lado, a la Universidad, quien ha permitido llevar los conocimientos para luego ser aplicados en un mundo laboral. Finalmente, al docente de curso, que con su asesoramiento se pudo llevar concluir el trabajo de una manera exitosa y eficiente.

Jhon Deyvis, Vargas Avila

Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR	2
Informe de Similitud	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Índice de tablas.....	9
Índice de Figuras	13
Índice de Formulas	20
Resumen.....	21
Palabras Claves	21
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	22
1.3. Bases Teóricas	61
1.3.1. Concreto.....	61
1.3.1.4.Propiedades Físico-Mecánicas de concreto	62
1.3.1.5.Componentes del Concreto	72
1.3.2. Nanotecnologías en el concreto	77
1.3.3. Diseño de Mezcla	79
1.4. Justificación	88
1.4.1. Justificación general.....	88
1.4.2. Justificación teórica.....	90
1.4.3. Justificación práctica.	91

1.4.4. Justificación metodológica	92
1.4.5. Justificación social	92
1.4.6. Justificación económica	93
1.5. Formulación del problema	94
1.6. Objetivos	94
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	96
2.1. Enfoque de investigación	96
2.2. Tipo de investigación	96
2.2.2 Según el diseño de investigación	97
2.2.3 Según el nivel de investigación	97
2.3 Diseño de investigación:	97
2.4 Variables	98
2.5. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	104
2.5.1 Población	104
2.5.2 Muestra	104
2.5.3 Materiales.....	105
2.6.1 Técnica de recolección de datos.	106
2.6.2. Instrumento de recolección de datos	106
2.6.3. Validación del instrumento de recolección datos.....	107
2.6.4. Análisis de datos:.....	108
2.7.1. Procedimiento Detallado.....	109

1. Preparación de las mezclas de concreto	109
XII. Expansión a sulfatos.....	115
XIV. Ensayo de Succión Capilar para determinar la Absorción.....	117
2.8. Aspectos éticos	119
III. RESULTADOS.....	120
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	166
REFERENCIAS.....	186
ANEXOS	192
ANEXO N° 1: Matriz de Consistencia	194
ANEXO N° 2. Instrumentos de recolección de datos	196
ANEXO N° 3: Validación de Instrumento por expertos	197
ANEXO N° 5: Certificados de Calidad obtenidos de laboratorio	208
ANEXO N° 6: Certificados de Calibración de los instrumentos de laboratorio	237
ANEXO N° 7: Ficha técnica de los productos	247
ANEXO N° 8: Cotizaciones de Productos	255
ANEXO N° 8: Panel Fotográfico	259

Índice de tablas

Tabla 1 Requisitos de Relación Agua-Cemento y Tipo de Cemento según Nivel de Exposición a Sulfatos.....	69
Tabla 2 Requisitos de Relación Agua-Cemento y Resistencia para Diferentes Condiciones de Exposición del Concreto	71
Tabla 3 Determinación de la Resistencia Requerida.....	81
Tabla 4 Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción ..	81
Tabla 5 Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción .	82
Tabla 6 Máxima Relación Agua/Cementos Permisibles para Concretos Sometidos a Condiciones Especiales de Exposición	83
Tabla 7 Determinación de Aire Atrapado	84
Tabla 8 Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto.....	86
Tabla 9 Volúmenes Absolutos de los Elementos del Concreto	87
Tabla 10 Variables de Estudio	98
Tabla 11 Matriz de Clasificación de Variables	101
Tabla 12 Matriz de Operacionalización de Variables	102
Tabla 13 Detalle del Tamaño de Muestra	105
Tabla 14 Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo V	121
Tabla 15 Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 1% de Nanosilíce.....	122

Tabla 16 Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 1.5% de Nanosilice.....	124
Tabla 17 Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 2% de Nanosilice.....	125
Tabla 18 Prueba de la Normalidad.....	128
Tabla 19 Prueba de Homogeneidad de Varianzas.....	129
Tabla 20 Prueba de Anova de un Factor	130
Tabla 21 Pruebas Post Hoc	130
Tabla 22 Correlación de Person sobre la Influencia de la Nanosilice en la Resistencia del Concreto	132
Tabla 23 Prueba Regresión Lineal	134
Tabla 24 Coeficientes de Regresión Lineal	134
Tabla 25 Resultados de Absorción de las Muestras con y sin Nanosilice- ASTM C1585-04.....	137
Tabla 26 Prueba de Normalidad para la Prueba de Absorción	139
Tabla 27 Prueba de Anova de un Factor	140
Tabla 28 Prueba Post Hoc	141
Tabla 29 Correlación de Pearson	143
Tabla 30 Prueba de Regresión Lineal para la Absorción.....	144
Tabla 31 Coeficientes de Regresión Lineal de Absorción de las Muestras	145

Tabla 32 Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo V sin Nanosilíce	146
Tabla 33 Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 1% de Nanosilíce	147
Tabla 34 Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 1.5% de Nanosilíce	147
Tabla 35 Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 2% de Nanosilíce	148
Tabla 36 Pérdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo V SN	148
Tabla 37 Pérdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 1% NS	149
Tabla 38 Pérdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 1.5% SN	150
Tabla 39 Pérdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 2% SN	151
Tabla 40 Prueba de Normalidad de los Porcentajes de Pérdida de $F'c$ por Ataque Severo de Sulfatos	156
Tabla 41 Prueba de Anova de un Factor	157
Tabla 42 Prueba Post Hoc	158
Tabla 43 Correlación de Pearson	160
Tabla 44 Prueba de Regresión Lineal	161
Tabla 45 Coeficientes de Regresión Lineal de los Porcentajes de Pérdida de $F'c$	161
Tabla 46 Valor de los Materiales para un m ³ de Concreto 280 Kg/Cm ² a Base de Cemento Tipo V sin Nanosilíce	163

Tabla 47 Valor de los Materiales para un m ³ de Concreto 280 Kg/Cm ² a Base de Cemento Tipo I con 1% de Nanosilice	163
Tabla 48 Valor de los Materiales para un m ³ de Concreto 280 Kg/Cm ² a Base de Cemento Tipo I con 1.5% de Nanosilice	164
Tabla 49 Valor de los Materiales para un m ³ de Concreto 280 Kg/Cm ² a Base de Cemento Tipo I con 2% de Nanosilice	164
Tabla 50 Matriz de Consistencia.....	194
Tabla 51 Ficha de Validación del Primer Experto	198
Tabla 52 Ficha de Validación del Segundo Experto	201
Tabla 53 Ficha de Validación del Tercer Experto	204
Tabla 54 Matriz de Operación de Variables	206

Índice de Figuras

Figura 1 Clasificación de la muestra y observación.....	98
Figura 2 Planificación del Procedimiento	109
Figura 3 Resistencias Promedio Muestra Patrón	122
Figura 4 Resistencias Promedio Muestra con 1% de Nanosilice.....	123
Figura 5 Resistencias Promedio de Muestra con 1.5% de Nanosilice	124
Figura 6 Resistencias Promedio de Muestra con 2% de Nanosilice	126
Figura 7 Curva de Resistencias Obtenidas.....	127
Figura 8 Gráfica de Ecuación de la Regresión Lineal de la Resistencia a la Compresión	136
Figura 9 Absorción de las Mezclas de Concreto de las diferentes Muestras	138
Figura 10 Curvas de las Perdidas de $F'c$ por Ataque de Sulfatos - Cemento Tipo V SN	149
Figura 11 Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 1% NS Expuestas a Sulfatos Severos	150
Figura 12 Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 1.5% NS Expuestas a Sulfatos Severos	151
Figura 13 Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 2% NS Expuestas a Sulfatos Severos	152
Figura 14 Porcentajes de Perdidas de $F'c$ de las Diferentes Muestras.....	153

Figura 15 Resistencias a la Compresión Obtenidas tras la Expansión a Sulfatos Severa	
.....	154
Figura 16 Grafica de la Ecuación de Perdida de Fc' por Sulfatos Severos.....	162
Figura 17 Precio de Materiales para un m ³ de Concreto según cada Diseño de Mezcla	
.....	165
Figura 18 Guía de Observación	196
Figura 19 Ficha de Evaluación del Primer Experto	197
Figura 20 Ficha SUNEDU del Primer Experto.....	199
Figura 21 Ficha de Evaluación del Segundo Experto	200
Figura 22 Ficha SUNEDU del Segundo Experto.....	202
Figura 23 Ficha de Evaluación del Tercer Experto.....	203
Figura 24 Ficha de Validación del Tercer Experto	205
Figura 25 Certificado del Análisis Granulométrico del Agregado Fino	208
Figura 26 Certificado del Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	209
Figura 27 Certificado de Caracterización de Agregados	210
Figura 28 Certificado del Diseño de Mezcla.....	211
Figura 29 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón	
.....	212
Figura 30 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón	
.....	213

Figura 31 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón	214
Figura 32 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce.....	215
Figura 33 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce.....	216
Figura 34 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce.....	217
Figura 35 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce.....	218
Figura 36 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce.....	219
Figura 37 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce.....	220
Figura 38 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce.....	221
Figura 39 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce.....	222
Figura 40 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce.....	223
Figura 41 Certificado de Determinación de la Velocidad de Absorción de las diferentes muestras con y sin Nanosilíce	224

Figura 42 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo V sin Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	225
Figura 43 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo V sin Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos.....	226
Figura 44 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo V sin Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos.....	227
Figura 45 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	228
Figura 46 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	229
Figura 47 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	230
Figura 48 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	231
Figura 49 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	232
Figura 50 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	233
Figura 51 Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	234
Figura 52 Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	235

Figura 53 Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos	236
Figura 54 Certificado de Calibración de Prensa	237
Figura 55 Certificado de Calibración de Prensa	238
Figura 56 Certificado de Calibración de Prensa	239
Figura 57 Certificado de Calibración del Horno.....	240
Figura 58 Certificado de Calibración del Horno.....	241
Figura 59 Certificado de Calibración del Horno.....	242
Figura 60 Certificado de Calibración de la Balanza N° 1	243
Figura 61 Certificado de Calibración de la Balanza N° 1	244
Figura 62 Certificado de Calibración de la Balanza N° 2.....	245
Figura 63 Certificado de Calibración de la Balanza N° 2.....	246
Figura 64 Ficha Técnica de la Nanosilíce empleada en el Proyecto.....	247
Figura 65 Ficha Técnica del Cemento Tipo V Empleado en el Proyecto.....	248
Figura 66 Ficha Técnica del Cemento Tipo V Empleado en el Proyecto.....	249
Figura 67 Ficha Técnica del Superplastificante Empleado en el Proyecto.....	250
Figura 68 Ficha Técnica del Superplastificante Empleado en el Proyecto.....	251
Figura 69 Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto	252
Figura 70 Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto	253
Figura 71 Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto	254

Figura 72 Cotización de Gaia Nanosilíce.....	255
Figura 73 Cotización de Gaia Nanosilíce.....	256
Figura 74 Cotización de Cementos Tipo I y V	257
Figura 75 Cotización SikaCem® Plastificante (Superplastificante).....	258
Figura 76 Ubicación de la Cantera para la Obtención de Agregados	259
Figura 77 Cantera Doña Ramona- Cajabamba.....	260
Figura 78 Aditivos Usados en el Proyecto	261
Figura 79 Cemento Tipo V para la Muestra Base sin Nanosilíce	262
Figura 80 Sulfato de Magnesio que se usó para la Prueba de Resistencia a Sulfatos	263
Figura 81 Análisis Granulométrico	264
Figura 82 Peso de Aditivos en Proporción al Cemento	265
Figura 83 Asentamiento de los Diseños de Mezcla	266
Figura 84 Asentamiento de los Diseños de Mezcla	267
Figura 85 Llenado de Probetas.....	268
Figura 86 Sulfato de Magnesio	269
Figura 87 Peso del Sulfato de Magnesio.....	270
Figura 88 Ensayo de Succión Capilar para determinar la Absorción de Líquidos de las Muestras	271
Figura 89 Ensayo de Resistencia a la Compresión	272
Figura 90 Ensayo de Resistencia a la Compresión	273

Figura 91 Ensayo de Resistencia a la Compresión a Muestras Sumergidas a Sulfatos

.....274

Índice de Formulas

Determinación de Agua Efectiva	85
Determinación de la Cantidad de Cemento.....	85
Peso del Agregado Grueso	87
Peso Agregado Fino	88
Ecuación General de la Regresión Lineal	135
Ecuación de regresión lineal de la Resistencia a la Compresión	135
Ecuación de la regresión lineal de Absorción	145
Gráfica de la Ecuación de Regresión Lineal de la Absorción del Concreto	146
Ecuación de la regresión lineal de los Porcentajes de Perdida de $F'c$	162

Resumen

El presente estudio titulado "Análisis comparativo del efecto de la nanosílice en la resistencia y durabilidad del concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024" evalúa el impacto de la nanosílice como aditivo en el concreto. Ante la necesidad de infraestructuras duraderas en ambientes agresivos, se analizó la influencia de este nanomaterial en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Se empleó un diseño cuasiexperimental, elaborando 124 muestras de concreto con cemento tipo I y V, incorporando nanosílice en proporciones del 1%, 1.5% y 2%. Las muestras se sometieron a pruebas de resistencia a la compresión, absorción y exposición a sulfatos. Los resultados evidenciaron que la incorporación de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión y redujo la porosidad, optimizando la durabilidad del concreto, particularmente con una dosis óptima de 1.5%, que ofrece un balance eficiente entre costo y desempeño. Además, la resistencia del concreto mejorado frente a ambientes agresivos fue comparable al cemento Tipo V antisalitre. Estos hallazgos confirman la efectividad técnica y económica de la nanosílice como aditivo innovador para mejorar la calidad y vida útil del concreto en diversas condiciones geográficas y climáticas.

Palabras Claves: Nanosílice, resistencia a la compresión, durabilidad, concreto, sostenibilidad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

1.1.1. Global

Implementar el uso de nanosílice como aditivo para mejorar las propiedades del concreto ha generado un gran interés de la comunidad científica y de la industria de la construcción a nivel global. Este progreso se fundamenta en la habilidad del nanosílice para mejorar el comportamiento del concreto, permitiendo a este, incrementar la capacidad de este material para disminuir su porosidad y potenciar la resistencia a la compresión. Esto, ha sido objeto de numerosas investigaciones y proyectos a nivel mundial. Saleem et al. (2021), en su investigación titulada "Nuevos avances en la aplicación de nanomateriales en concreto y su impacto ambiental", constituye un estudio que subraya la aplicación de nanosílice en el concreto. Esta investigación analiza la integración de nanosílice en el concreto con el objetivo de optimizar sus propiedades mecánicas, evidenciando un incremento en la resistencia y durabilidad del material, permitiendo así un mejor comportamiento.

Para apoyar el desarrollo sostenible en todo el mundo, es importante enfocarse en la industria de la construcción, la innovación de nuevas tecnologías para tener un avance que pueda generar soluciones y un desarrollo sostenible. Un tema clave es mejorar el diseño del concreto usando nanosílice, lo que ayuda a hacer las estructuras más resistentes y eficientes. Esto representa un avance importante en la tecnología del concreto y la innovación en infraestructura. En Qatar, se ha demostrado que agregar nanosílice puede aumentar la resistencia del concreto en un 20-30% en comparación con el concreto normal, especialmente en ambientes difíciles. Este tipo de concreto se

ha investigado y utilizado en grandes proyectos de infraestructura y en construcciones expuestas a condiciones climáticas extremas.

Las nanopartículas de dióxido de sílice en el sector de la construcción juegan un rol crucial para lograr muchos de los objetivos establecidos en la agenda 2030 de las Naciones Unidas, especialmente en los campos de la industria, la innovación, la infraestructura y la construcción de ciudades y comunidades. El concreto tiene un gran potencial para extender su vida útil, reducir los gastos de mantenimiento y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía. Además de optimizar los recursos, las tecnologías avanzadas en concreto impulsan innovaciones industriales hacia el desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles. La incorporación de nanosílice en el concreto es fundamental para crear construcciones resistentes y duraderas que puedan fomentar el desarrollo de ciudades y asentamientos humanos que sean sostenibles, capaces de soportar los cambios climáticos y ataques químicos que pueda generar la diversidad geográfica, proporcionando infraestructuras seguras y eficaces para las generaciones futuras. Este enfoque otorga sostenibilidad, innovación y eficiencia a las zonas urbanas, mejorando así la calidad de vida y fomentando un desarrollo económico justo y sostenido, en línea con la agenda 2030. La mejor manera de alcanzar los objetivos globales de sostenibilidad, es aumentar la calidad de las construcciones en un mundo urbanizado y en constante cambio es utilizando nanosílice en el concreto. Siendo este es un gran avance técnico que puede mejorar la industria de la construcción y la calidad de vida de las personas.

Los resultados de los estudios realizados en Arabia Saudita para aumentar la durabilidad del concreto mediante el uso de nanosílice han sido muy prometedores. Como se indicó por Althoey et al. (2023), la inclusión del 3% de nanosílice en la mezcla

de concreto optimiza la microestructura del concreto junto con la porosidad. Este da a los concretos un aumento de la resistencia a la acción química, así como una mejora en el comportamiento bajo cargas severas, factores que son altamente preferibles para estructuras en condiciones extremas. El documento, con una expresión clara, establece que deben realizarse esfuerzos de investigación coordinados y globales hacia la búsqueda de materiales de construcción duraderos y sostenibles.

Un estudio realizado en Cuba sobre el uso de nanosílice en concreto de alto rendimiento reveló mejoras significativas en las propiedades físico-mecánicas del material. Girón et al. (2012) muestran que el material exhibió un aumento máximo en la resistencia a la compresión de hasta un 13 por ciento cuando se aplicó nanosílice en el concreto en comparación con los morteros tradicionales. En resumen, estos resultados sugieren que la nanosílice podría ser una opción rentable para producir concreto duradero de alto rendimiento, el cual se empleará en servicios con requisitos en términos de durabilidad y rendimiento.

El uso de nanosílice en el concreto ha mejorado significativamente las propiedades de resistencia a la compresión en Colombia, incrementándose hasta en un 23,15%, de acuerdo con la investigación publicada en 2019. Además, enfatizó la habilidad de la nanosílice para minimizar la huella de carbono y potenciar la resistencia del cemento a la erosión, factores que lo posicionan como una opción factible para la mejora de las propiedades del cemento y la potenciación de estructuras más sostenibles y perdurables.

La investigación realizada en Brasil por Zanon et al. (2018) en relación con la incidencia de la nanosílice en concretos expuestos a iones cloruros reveló que la

incorporación de 0,5% y 0,7% de nanosílice con sílice activa incrementó la resistencia a la compresión y disminuyó la absorción de agua. Adicionalmente, la incorporación de nanosílice redujo la penetración de cloruros; sin embargo, su impacto se hizo más perceptible cuando se combinó con sílice activa. Estos descubrimientos subrayan la capacidad de la nanosílice para optimizar la longevidad del hormigón bajo condiciones de alta agresividad.

En Ecuador, el uso de nanosílice como aditivo en el desarrollo de concreto ha demostrado ser útil para mejorar sus características físicas y mecánicas. Alvansaz et al. (2022) mencionan que al agregar un 1,5% de nanosílice en la mezcla, la resistencia a la compresión aumentó en un 8,44% en comparación con los 28 días de secado inicial. Además, el estudio destacó la importancia de optimizar los componentes elásticos y la resistencia a la tracción, sugiriendo que la nanosílice podría ser una opción viable para mejorar la durabilidad y el rendimiento del concreto en el sector de la construcción.

En el contexto nacional se han llevado a cabo diferentes estudios. Primero en un estudio llevado en la región Cerro de Pasco, donde se evaluó la influencia de la incorporación de nanosílice y superplastificante en la resistencia a la compresión del concreto bajo ciclos de congelamiento y deshielo. Los resultados mostraron que la adición de nanosílice en diferentes proporciones mejoró significativamente la resistencia y durabilidad del concreto en estas condiciones extremas. Estos hallazgos son muy importantes para la construcción de infraestructura en áreas de gran altitud y con clima adverso. Por otro lado, en un estudio realizado en Lima sobre la durabilidad del concreto expuesto a sulfatos, se encontró que añadir solo un 1.0% de nanosílice mejoró significativamente la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, alcanzando 395 kg/cm² en comparación con los 349 kg/cm² a los 14 días. Además, tras

42 días en agua salada, se redujo la absorción de agua del concreto tratado con nanosílice, lo que sugiere una mayor durabilidad en entornos costeros agresivos. Estos hallazgos demuestran que el uso de nanosílice es una estrategia eficaz para mejorar la durabilidad del concreto en condiciones complejas.

Un estudio similar, realizado en la región de Junín, Perú, se centró en el uso de nanosílice en el concreto estructural en la ciudad de Huancayo. Los resultados indicaron claramente que el uso de nanosílice en el concreto aumenta su resistencia a la compresión de manera notable, con incrementos de hasta un 35% en comparación con el concreto tradicional. Además, se informó que este aditivo reduce la permeabilidad y mejora la vida útil de las estructuras bajo condiciones de altas cargas y climas severos.

En el ámbito local, se realizó una evaluación del comportamiento del concreto integrado con nanosílice en la región de Cajamarca. De acuerdo con los descubrimientos proporcionados por Cabanillas H. (2020), este determinó que el concreto con adición de 1.5% de nanosílice demostró una resistencia a la compresión de 656.84 kg/cm², lo que corresponde al 131.37% del valor estimado. Esta afirmación enfatiza la eficacia de la nanosílice en la optimización de las propiedades mecánicas del concreto en la región en consideración.

En algunas regiones rurales del Perú, el conocimiento sobre tecnologías de construcción emergentes, como el uso de nanosílice en el concreto, es bastante limitado. Esta falta de información podría generar resistencia tanto por parte de los constructores como de las autoridades locales para aplicar estas metodologías innovadoras. Los problemas ambientales, como fuertes lluvias y variaciones en la temperatura y la humedad, pueden degradar el concreto si no se usan los materiales adecuados, así como

la presencia de sulfatos. La nanosílice, que mejora la densidad y resistencia del concreto, podría ser una solución para estos problemas. Sin embargo, las zonas rurales suelen carecer de los recursos económicos y técnicos necesarios para realizar investigaciones y pruebas rigurosas de estas tecnologías avanzadas. El concreto convencional, aunque duradero, requiere mantenimiento frecuente, lo que supone un desafío de sostenibilidad a largo plazo para las infraestructuras deportivas y recreativas. Es crucial confirmar la eficacia del concreto mejorado con nanosílice para garantizar su uso en el tiempo. Además, es importante educar a la comunidad local sobre las ventajas y el uso adecuado de esta tecnología para asegurar su correcta implementación y evitar problemas de durabilidad en las construcciones.

La construcción de infraestructuras en la provincia de Cajabamba enfrenta varios desafíos, principalmente relacionados con la durabilidad y resistencia del concreto utilizado. El concreto convencional tiende a deteriorarse rápidamente debido a factores ambientales y su uso intenso, lo que genera altos costos de mantenimiento y reparaciones. La adición de nanosílice al concreto ofrece mejoras significativas en resistencia y durabilidad, ayudando a mitigar estos problemas. Sin embargo, hay varios obstáculos que deben superarse para su implementación efectiva, como la correcta dispersión de la nanosílice en la mezcla, el aumento de los costos iniciales y la necesidad de ajustar las técnicas de construcción tradicionales. Superar estos desafíos será crucial para aprovechar los beneficios que esta innovación tecnológica puede ofrecer en términos de sostenibilidad y eficiencia estructural, mejorando la calidad y durabilidad de las infraestructuras en la región.

Para la regulación de los ensayos y especificaciones relativos al concreto con nanosílice, resulta imprescindible tener en cuenta normativas internacionales como las

del American Concrete Institute (ACI), específicamente ACI 544.1R-96: 'Informe sobre concreto reforzado con fibras' y ACI 548.3R-09: 'Informe sobre el concreto modificado con polímeros'. En el contexto peruano, es imperativo considerar también las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

1.1.2. Macro

Según Althoey et al. (2023), se puede optimizar el comportamiento del concreto y reducir la porosidad al incorporar un 3% de nanosílice en la mezcla de concreto. Este enfoque mejora la respuesta del concreto en situaciones de carga extrema y aumenta su resistencia a la penetración de agentes agresivos. Esto es particularmente importante en la construcción en entornos de alta agresividad, donde la durabilidad y resistencia son factores clave. La adición de nanosílice también aumenta la resistencia a la compresión, al desgaste y la abrasión, lo que prolonga la vida útil de las estructuras urbanas. Por lo tanto, el uso de nanosílice puede ser una solución eficaz para enfrentar los problemas de degradación del concreto en condiciones ambientales adversas.

Alvansaz et al. (2022) establecieron que la adición de un 1,5% de nanosílice aumentó la resistencia a la compresión del concreto, con un incremento del 8,44% a los 28 días de curado. El desarrollo de concreto de excelente calidad, se genera al optimizar la reducción de la porosidad y aumentar la densidad de la mezcla, lo que contribuye a mejorar la resistencia a la compresión. La implementación de nanosílice también mejora el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción, lo que indica un aumento integral en las propiedades mecánicas del concreto. La adición de nanosílice fortalece la durabilidad del concreto al disminuir la vulnerabilidad a la degradación causada por agresiones químicas y físicas. Estos descubrimientos evidencian que la nanosílice

representa una alternativa factible para la producción de concretos de alto rendimiento, aptos para resistir condiciones extremas en el ámbito de la construcción civil y que contribuyen significativamente en términos de sostenibilidad y eficiencia de los recursos empleados en las estructuras.

Chávez, B. (2018) sostiene que la incorporación de variados porcentajes de nanosílice en el concreto (0.5%, 1.0% y 1.5%) incrementó de manera significativa su resistencia a la compresión. Los hallazgos indicaron que las muestras sometidas a tratamiento con nanosílice exhibían una durabilidad superior y un comportamiento mecánico superior en comparación con el concreto de referencia, particularmente tras ciclos de congelación y deshielo. La mejora en la resistencia y la durabilidad se atribuye a la reducción de porosidad y a la mejora en la cohesión de la matriz de concreto de la nanosílice. Las condiciones extremas de congelación y deshielo pueden precipitar el deterioro del concreto en regiones de alta altitud con climas extremos, por lo que estos descubrimientos son fundamentales para el progreso de las infraestructuras en dicho territorio. Dentro de estas circunstancias adversas, la integración de nanosílice optimiza la durabilidad y la fiabilidad de las estructuras.

De acuerdo con Osorio K. (2019), la incorporación de un 1.0 % de nanosílice en el concreto incrementó notablemente su resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 395 kg/cm² en un periodo de 28 días, en contraste con 349 kg/cm² en un periodo de 14 días. El incremento en la resistencia se atribuye a la mejora en la microestructura del hormigón generada por la nanosílice. Adicionalmente, tras 42 días de exposición a agua salada, el concreto con nanosílice evidenció una disminución en la pérdida de masa (0.00486%) y una reducción en la porosidad (1.76%), lo que sugiere una mayor durabilidad en condiciones de alta agresividad. Estos hallazgos

subrayan la habilidad de la nanosílice para incrementar la resistencia y durabilidad del hormigón, especialmente en contextos costeros donde la agresividad del entorno puede precipitar la degradación del material. Por lo tanto, la incorporación de nanosílice emerge como una opción viable para potenciar la durabilidad del concreto bajo condiciones extremas, permitiendo extender la vida útil de las estructuras que funcionan bajo condiciones agresivas.

La incorporación de nanosílice en el concreto ofrece una serie de ventajas, las cuales pueden variar dependiendo del entorno y las circunstancias. Girón et al. (2012) enfatizan que la integración de nanosílice en el concreto incrementa significativamente la resistencia a la compresión, prolonga la vida útil hasta un 13% y se presenta como una alternativa óptima para edificaciones de alto rendimiento. En su estudio colombiano, Loaiza et al. (2019) demostraron que la integración de nanosílice en proporciones que oscilan entre el 1% y el 3% potencia la resistencia a la compresión hasta un 23,15%. Además, incrementa la porosidad y la resistencia a la corrosión, contribuyendo de esta manera a la sostenibilidad de las estructuras. En Brasil, los académicos Zanon et al. (2018) descubrieron que la combinación de nanosílice y sílice activa incrementa la resistencia a la compresión y reduce la penetración de cloruros, lo que a su vez mejora la durabilidad en situaciones de alta agresividad.

En su estudio realizado en Cerro de Pasco, Chávez (2018) subraya que la nanosílice incrementa la resistencia a la compresión del concreto durante los ciclos de congelamiento y deshielo, lo que lo convierte en un material más idóneo para condiciones climáticas extremas. En una investigación llevada a cabo en Lima en 2019, Osorio Pedraza evidenció que la adición de un 1% de nanosílice incrementa la

resistencia del hormigón en contextos costeros expuestos a sulfatos, lo cual disminuye la pérdida de masa y la porosidad tras 42 días de exposición. En última instancia, Nieto Agreda (2022) indica que la combinación de nanosílice con fibra de carbono reciclada o virgen potencia la resistencia y conductividad del hormigón, lo que resulta particularmente ventajoso en condiciones climáticas extremas como la de Lima. Estas investigaciones conjuntas evidencian que la aplicación de nanosílices en concreto representa una alternativa factible para optimizar tanto sus características mecánicas como su durabilidad bajo una variedad de condiciones ambientales.

Durante la mitad de 2003, Cognoscible Technologies S.A., en colaboración con Ulmen S.A., enfrentó el reto de desarrollar un producto que sustituyera los efectos contaminantes de la microsílica, proporcionando resultados equivalentes o incluso superiores, y a un costo razonable que justificara su utilización. El propósito primordial consistía en desarrollar una sílice que se adhiera a la normativa ambiental ISO-14001. Mediante el uso de instrumentos sofisticados de física, química y los progresos más recientes en nanotecnología, ambas corporaciones lograron abordar dicho desafío. Ulmen. (2020)

Las innovadoras aplicaciones de la nanotecnología en el campo de los materiales incluyen el desarrollo de una pintura con características de autolimpieza y protección anti grafiti. Adicionalmente, se han desarrollado recubrimientos nanométricos para resguardar el acero de refuerzo frente a la corrosión, así como materiales cerámicos para mobiliario de baño que exhiben superficies lisas a escala nanométrica. Esto facilita la conservación de su limpieza y lustre con cada uso, eliminando la necesidad de limpiezas subsecuentes. Ulmen. (2020)

Con respecto a los concretos de alta resistencia (H-70), el producto Gaia desarrollado por dichas corporaciones exhibe un rendimiento que supera en un 88% al de la microsíllica, el cemento adicional y los superplastificantes empleados de manera convencional. En términos promedio, se necesitan únicamente 9.43 kg de Gaia Nanosílice, en contraste con los 73 kg requeridos de los materiales previamente mencionados. Adicionalmente, su costo es considerablemente reducido, lo que lo establece como una opción más económica y eficaz. Ulmen (2020).

Sika S.A. ha desarrollado el aditivo Sikacrete® NT, una innovación fundamentada en nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂) en suspensión coloidal, con el propósito de optimizar de manera significativa las propiedades del hormigón. Este aditivo en estado líquido se presenta como una opción óptima para proyectos que demandan un rendimiento estructural elevado, particularmente en contextos de alta exigencia, dado que tiene la capacidad de regular la exudación y segregación, disminuir la permeabilidad y potenciar la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. Sikacrete® NT ha sido diseñado para su uso en concreto autocompactante de alto rendimiento (HAC), concreto de alta resistencia (HSC), y concreto de alto desempeño y durabilidad. Una ventaja adicional es que puede reemplazar la microsíllica tradicional directamente en la mezcla, manteniendo o incluso mejorando las propiedades finales del concreto sin cambiar el proceso de mezcla. Las dosis recomendadas de Sikacrete® NT varían entre el 0.1% y el 3% del peso total del cemento. Esta innovación tecnológica no solo potencia la robustez y longevidad de la estructura, sino que también mejora la calidad de las terminaciones superficiales del concreto. Por ende, se presenta como una alternativa apropiada para proyectos en entornos desafiantes o extremos donde la durabilidad es de vital importancia. Sika

S.A. se distingue en el ámbito constructivo al ofrecer soluciones tecnológicas vanguardistas que satisfacen las exigencias emergentes de infraestructura sostenible y sustentable.

La empresa Master® Builders Solutions ha desarrollado MasterRoc MS 685, un aditivo líquido basado en una suspensión de nanosílice amorfa, la que puede optimizar la permeabilidad y resistencia del concreto, lo que lo convierte en un material más duradero. Este aditivo fortalece al cemento, mejorando la manejabilidad, reduciendo la segregación y la presión de bombeo, y proporciona un acabado superficial de elevada calidad a través de su reacción puzolánica al ser incorporado en la combinación. Se distingue por su eficiencia en el procesamiento de cenizas volantes y es idóneo para aplicaciones como el concreto bombeado, proyectado y de alta eficiencia operativa para brindar una construcción más resistente y segura.

1.1.3. Micro

En la provincia de Cajabamba, Cajamarca, se observa un deterioro acelerado de las infraestructuras de concreto; esto se atribuye a las condiciones climáticas desfavorables y a la elevada concentración de sulfatos en el suelo y agua en la parte valle de la zona. Estas condiciones generan un ambiente extremadamente agresivo para el concreto, poniendo en riesgo su durabilidad y resistencia con el transcurso del tiempo. Estos aspectos, han hecho que el concreto convencional dificulte su capacidad para adaptarse a estas condiciones y ha generado que las construcciones se deterioren más rápido de lo programado. Así como un aumento considerable en los costos de mantenimiento y reparación, lo que ha impactado negativamente en la sostenibilidad y funcionalidad de las infraestructuras de la provincia de Cajabamba y la región

Cajamarca.

Las condiciones geográficas y meteorológicas en Cajabamba manifiestan fluctuaciones extremas, caracterizadas por precipitaciones elevadas y significativas que se presentan en etapas invernales; así como la exposición al sol y frecuentes heladas en etapas de verano y otoño, factores que contribuyen a la aceleración de la degradación del concreto. Las lluvias continuas aumentan la capacidad del concreto para absorber agua, lo que facilita la entrada de agua y sulfatos en su interior. Cuando los sulfatos entran en contacto con ciertos componentes del cemento, se forman sustancias que se expanden, provocando pequeñas grietas en el concreto. Estas grietas debilitan la estructura interna de la edificación, reduciendo de esta manera su resistencia y durabilidad.

Además, las frecuentes heladas presentes en las épocas de otoño generan ciclos de dilatación y contracción en el concreto, permitiendo de esta manera la generación de fisuras en diferentes partes de las edificaciones, que van cada vez más desintegrando las superficies del concreto. Esta situación no solo afecta la estética de las estructuras, sino que también genera fallas estructurales en la edificación, reduciendo su capacidad para resistir cargas y aumentando la debilidad a sufrir fallos estructurales.

Simultáneamente, en la parte valle de la provincia de Cajabamba, se presenta un nivel elevado de humedad en el suelo, lo que produce la acumulación de sulfatos. Esta zona muestra una elevada presencia de estos agentes agresivos, los que pueden influir negativamente en las estructuras de concreto, ocasionando el deterioro constante y comprometiendo su resistencia a largo plazo de las construcciones, siendo este otros de los problemas que afecta a los pobladores de esta zona.

Asimismo, el concreto utilizado en la provincia de Cajabamba frecuentemente es usado de manera tradicional, y muchas veces sin los estándares de calidad necesarios. Al realizar un uso común de concreto, no se emplea ningún tipo de aditivo para incrementar su resistencia a estos factores. Por tal motivo, se manifiesta una disminución en sus propiedades mecánicas. Estas circunstancias generan una penetración de agentes agresivos, permitiendo así la degradación del material. La falta de innovaciones tecnológicas, tales como la incorporación de nanosílice, que podría aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad y porosidad del concreto y potenciar su cohesión interna, limita la capacidad de las infraestructuras para resistir estos ambientes agresivos.

La acumulación de condiciones climáticas extremas, una concentración significativa de sulfatos significantes y la utilización de concreto con propiedades insuficientes para afrontar estos desafíos genera un entorno favorable para la acelerada degradación de las infraestructuras en la provincia de Cajabamba. Este ciclo constante de deterioro y reparación no solo incrementa los costos de mantenimiento, sino que también disminuye la vida útil de las estructuras, afectando su funcionalidad y seguridad a largo plazo.

1.1.4. Nano

La finalidad de la investigación es evaluar el efecto de la nanosílice en mejorar la resistencia y durabilidad del concreto en la provincia de Cajabamba, Cajamarca. El presente estudio busca responder cómo la incorporación de nanosílice mejora significativamente las propiedades físicas y mecánicas del concreto en condiciones climáticas adversas.

Durante la etapa invernal, Cajabamba recibe grandes cantidades de lluvia, lo que crea un entorno destructivo para las estructuras de concreto. Este ambiente incluye humedad constante, que conjuntamente con la exposición solar prolongada y heladas aceleran el desgaste. Además, la acumulación de sulfatos en el suelo y el agua deteriora aún más el material, ya que estos reaccionan con compuestos del cemento, produciendo sustancias expansivas, las que causan grietas, disminuyendo la capacidad estructural del material.

La nanosílice, formada por partículas ultrafinas de dióxido de silicio, incrementa la densidad del concreto al reducir su porosidad. Esto mejora la resistencia del concreto, aumentando su capacidad para soportar la infiltración de agua y variaciones térmicas extremas. El propósito es evaluar el comportamiento del concreto con nanosílice a base de cemento tipo I, en comparación con el concreto convencional a base de cemento tipo V, que no incorpora aditivo.

Se espera que las pruebas proporcionen datos confiables sobre las mejoras en las propiedades mecánicas y de resistencia del concreto, factores clave en una zona como lo es Cajabamba, donde las condiciones climáticas severas y la alta concentración de sulfatos aceleran el deterioro de las infraestructuras. La falta de nanosílice tiende a acelerar este deterioro, lo que aumenta los costos de mantenimiento y compromete la seguridad estructural a largo plazo.

Este estudio es relevante no solo para mejorar el uso del concreto en la provincia de Cajabamba, sino también para proponer soluciones que aumenten la sostenibilidad y funcionalidad de las infraestructuras en áreas con condiciones climáticas desfavorables de esta zona. La nanosílice puede reducir los costos de mantenimiento y

reparación, mientras mejora la durabilidad y resistencia de las estructuras, lo que la convierte en una tecnología indispensable en entornos extremos.

La aplicación de nanosílice puede transformar significativamente los procesos de construcción y mantenimiento de infraestructuras en Cajabamba, proporcionando una solución efectiva y duradera que responda a las demandas ambientales de los cajabambinos, fomentando así construcciones más eficientes y sostenibles.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

- *"Análisis de la inclusión de nanosílice en concreto de alto rendimiento (HPC)"*, Bombon C. y Rosero B.(2022), en su artículo científico, el cual tuvo como objetivo principal examinar los efectos de añadir partículas de nanosílice en las características físicas y mecánicas del concreto de alto rendimiento (HPC). Se evaluaron niveles de concentración de nanosílice del 0.75%, 1.5% y 3%, además de sustituciones de microsílice al 5% y 10%, empleando cemento Portland tipo I, áridos gruesos y finos, y un aditivo superplastificante. El análisis abarcó pruebas de resistencia a la compresión, tracción indirecta, módulo de elasticidad, módulo de rotura y el coeficiente de Poisson. Los resultados señalaron que la incorporación de nanosílice tuvo un impacto positivo en las propiedades mecánicas del concreto. Después de un paso de 28 días, se pudo apreciar un aumento del 8.44% en la resistencia a la compresión y del 16.21% en el módulo de rotura, en relación al concreto estándar. Específicamente, la concentración más adecuada de nanosílice fue del 1.5%, con la cual se obtuvieron los mayores incrementos en la resistencia a la compresión (66.32 MPa) y en otras características mecánicas. Este análisis determina que la utilización de nanosílice

es factible y provechosa para potenciar las características físico-mecánicas del concreto de alto rendimiento. Se destaca que una concentración del 1.5% es la más idónea para alcanzar un óptimo desempeño en resistencia y durabilidad del concreto, ya que una concentración superior no garantiza necesariamente resultados superiores (p.17).

Estos descubrimientos indican que el uso de nanosílice en la producción de concreto puede incrementar la durabilidad y la resistencia estructural. Esta tecnología resulta especialmente beneficiosa en obras de construcción que enfrentan condiciones húmedas desafiantes y donde la resistencia del concreto es fundamental.

- ***“Effect of nano silica on the properties of concrete and mortar - A state of art”***, Pandiaraj K. y Vanitha S. (2021), en su artículo científico, con el objetivo principal de examinar el impacto de la nanosílice en las características del concreto y el mortero, examinando los progresos recientes en la implementación de nanosílice como un componente alternativa parcial del cemento en diversas combinaciones. Se realizaron revisiones de investigaciones anteriores acerca de la integración de nanosílice en morteros, concretos convencionales y concretos especiales, subrayando la manera en que este material potencia la resistencia mecánica y la longevidad de los compuestos cementicios. Se constató que la nanosílice, caracterizada por su alto contenido de puzolánico y una superficie específica elevada, otorga un buen desempeño. Por tal motivo, juega un rol importante al momento del relleno de poros, fortaleciendo la resistencia y durabilidad del concreto. De esta manera, se incrementa así su densidad y disminuye la permeabilidad. La investigación indica que una dosis óptima de nanosílice es idónea

para mejorar sus ventajas, dado que dosis elevadas pueden propiciar la aglomeración de partículas y disminuir la eficacia del material. Se constató una mejora del 20-25% en la resistencia a la compresión del concreto con la adición de nanosílice, y se registró una reducción en la absorción de agua y permeabilidad. Estos hallazgos sugieren que la nanosílice representa una alternativa factible para optimizar las propiedades del concreto y el mortero, ofreciendo una solución eficaz para disminuir la huella de carbono vinculada a la fabricación de cemento y potenciando la sostenibilidad de los materiales de construcción. (p.7).

Este estudio proporciona un examen detallado sobre la aplicación de nanosílice en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto y el mortero. Propone que la nanosílice como una alternativa muy llamativa para solucionar problemas de ambientes agresivos que puedan generar daños al concreto, al desempeñar un papel de puzolánico y relleno de poros. Esto, mejora considerablemente la densidad, incrementando la resistencia a la compresión y disminuyendo la permeabilidad del material. Adicionalmente, esta investigación subraya la importancia de optimizar la cantidad de nanosílice empleada en las mezclas de concreto para maximizar sus ventajas y prevenir problemas de aglomeración. Los descubrimientos establecen un fundamento robusto para investigaciones subsecuentes en el desarrollo de concretos de alto rendimiento, fomentando la implementación de tecnologías de vanguardia para la construcción sostenible en contextos de alta exigencia.

- *"A Review of the Effect of Nano-Silica on the Mechanical and Durability Properties of Cementitious Composites", AlTawaiha, H., et al. (2023)", en su artículo científico, con el objetivo principal de evaluar meticulosamente el impacto*

de la nanosílice en las características mecánicas y la durabilidad de los compuestos cementicios. Para este estudio se llevaron a cabo diversas investigaciones que evaluaron el impacto de la nanosílice como sustituto parcial del cemento en la formulación de concreto, con un énfasis en características como la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción indirecta, la resistencia a la flexión, así como su durabilidad. La investigación ha evidenciado que la nanosílice aumenta de manera significativa la resistencia a la compresión del concreto, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial debido a su elevada superficie específica y su reactividad puzolánica. Se registró igualmente una reducción en la porosidad estructural, lo cual mejora la durabilidad del concreto al disminuir la penetración de agua y la formación de microfisuras. Con respecto a la resistencia a los sulfatos, se determinó que la incorporación de nanosílice disminuye la expansión provocada por los ataques de sulfatos, lo que mejora la durabilidad del material en entornos de alta agresividad. La evaluación propone que una dosis óptima de nanosílice de 2-3% maximiza sus ventajas, mientras que concentraciones elevadas pueden ocasionar dificultades en la aglomeración y reducir la eficiencia del material. Adicionalmente, se debatió acerca del impacto de la nanosílice en otras características, tales como la cohesión de las mezclas de concreto recién preparadas y el comportamiento frente a la oxidación. (p. 8)

Este estudio proporciona una perspectiva clara sobre la aplicación de nanosílice en la fabricación de concreto, en donde se muestra el potencial para mejorar tanto las características mecánicas como la durabilidad del concreto. En el menciona, que la nanosílice desempeña un papel multifuncional, reforzando no solo la microestructura del concreto, sino que también contribuyendo a la reducción de

la huella de carbono mediante una reducción en el consumo de cemento.

Este estudio fomenta el avance de innovaciones en la tecnología del concreto, dando valor, la utilización de nanoaditivos para maximizar el desempeño y la sostenibilidad de las edificaciones en contextos de alta agresividad. Adicionalmente, se sugiere orientaciones futuras de investigación con el objetivo de optimizar la utilización de nanosílice en una variedad de aplicaciones estructurales.

- ***"Comprehensive Review of Material Properties: Nano-Silica-Modified Concrete"***, Khan, Ahmad, Amin y Nazar (2022), con el objetivo de analizar evaluar las propiedades mecánicas más relevantes del concreto modificado con nanosílice. Mencionan que las diferentes aplicación de nanosílice y su elaboraron modelos de testigos para la determinación de la resistencia de dichos concretos. En su resultados, indican que la incorporación de nanosílice en compuestos cimentados resulta ventajosa cuando se emplea en una dosis óptima del 2-3%, debido a su elevada reactividad puzolánica y efecto de relleno. No obstante, un incremento en la dosis tiene consecuencias adversas debido al incremento de porosidad y microfisuras inducidos por la aglomeración de partículas de nanosílice. Se determinó que la resistencia mecánica podría incrementarse entre un 20 y 25% al integrar nanosílice en la cantidad óptima. Se aconseja explorar métodos económicos para la dispersión de nanosílice en concentraciones superiores en mezclas de cemento y llevar a cabo investigaciones más detalladas para la elaboración de modelos predictivos de mayor precisión. Adicionalmente, se constató una mejora significativa en la resistencia a los sulfatos del concreto con la incorporación de nanosílice, lo que resultó en una disminución de hasta un 63% en la expansión ocasionada por los ataques de sulfatos

con una adición del 3% (p. 19).

Este estudio propone un enfoque claro sobre la aplicación de nanosílice para mejorar las propiedades del concreto, particularmente en lo que respecta a su resistencia mecánica y durabilidad. Adicionalmente, propone que la nanosílice es un material factible para aumentar la resistencia a los sulfatos y disminuir la permeabilidad del concreto, sugiriendo su aplicación en edificaciones sometidas a condiciones de alta agresividad. Esta investigación favorece la formulación de estrategias eficaces para la creación de mezclas de concreto más sostenibles y de mayor eficiencia, fomentando así el progreso en la tecnología de materiales constructivos.

1.2.2. Antecedentes nacionales

- ***“Evaluación de la durabilidad del concreto en zonas costeras con cementos tipo I adicionando nanosílice y tipo V, Callao - 2021”***, Ccanto D. (2021), en la tesis de pregrado, en el presente estudio se planteo el objetivo principal de evaluar la durabilidad del concreto expuesto a condiciones agresivas en áreas costeras, contrastando la utilización de cemento Tipo I con la incorporación de nanosílice y cemento Tipo V. Se llevaron a cabo evaluaciones de resistencia a la compresión y longevidad en muestras de concreto fabricadas con cemento Tipo I con diversas proporciones de nanosílice (0.5%, 1% y 1.5%) y cemento Tipo V, bajo condiciones simuladas de exposición a sulfatos. En el presente estudio experimental se realizaron ensayos de compresión a los 28 y 56 días, junto con evaluaciones de porosidad y pérdida de masa. Los resultados indican que el concreto con cemento tipo I y 1.5% de nanosílice exhibió una resistencia a la compresión de 391 kg/cm² tras 42 días de inmersión en agua de mar. Simultáneamente, el cemento tipo V

mostró una resistencia de 385 kg/cm² bajo las mismas condiciones. Además, la pérdida de masa y la porosidad abierta fueron ligeramente menores en el concreto con adición de nanosílice (0.00483% y 1.70%, respectivamente) en comparación con el cemento tipo V (0.00509% y 1.73%). Estos datos sugieren que ambos tipos de cemento son efectivos frente a agentes agresivos como el agua de mar, pero el cemento tipo I con nanosílice ofrece una ventaja marginal en durabilidad. Se llegó a la conclusión de que la nanosílice representa una opción eficiente y coste-efectiva para incrementar la durabilidad del concreto en contextos costeros, equiparable al empleo de cemento Tipo V, con ventajas adicionales en lo que respecta a costos y sostenibilidad. Esta investigación propone un enfoque innovador para la mejorar las propiedades mecánicas del concreto en áreas sometidas a condiciones ambientales severas, fomentando la implementación de tecnologías de vanguardia como la nanosílice para la optimización de la construcción y conservación de infraestructuras en zonas costeras. (p. 101).

La investigación realizada por Ccanto Rivera evidencia que la nanosílice puede proporcionar una estrategia eficaz para potenciar la durabilidad del concreto en contextos de alta agresividad de salitres, como las áreas costeras, proporcionando una alternativa más económica y accesible en comparación con el cemento Tipo V; generando así, oportunidades de edificaciones sostenibles en dichas zonas.

- ***“Incorporación de nanosílice en pavimentos rígidos para una alta resistencia mecánica, provincia de Huancayo”***, Chavez C. (2022), en la tesis de pregrado, con el objetivo general de evaluar el efecto de la incorporación de nanosílice en la combinación de hormigón con el propósito de incrementar la resistencia mecánica de los pavimentos rígidos en la provincia de Huancayo. Se procedió a la producción

de 72 muestras de concreto y 16 vigas, las cuales se clasificaron en cuatro grupos: uno con diseño de mezcla convencional y tres con adiciones de nanosílice al 1%, 2% y 3% de su peso total. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y la flexión en estado de endurecimiento, complementadas con evaluaciones de asentamiento, contenido de aire y exudación en estado fresco, en conformidad con las regulaciones NTP y ASTM. Las evaluaciones se efectuaron en el laboratorio de la empresa "Constructora Ingenieros y Arquitectos Asesores Santa Cruz S.C.R.L." Los descubrimientos señalaron que la incorporación de nanosílice incrementó notablemente la resistencia a la compresión y flexión del concreto. El hormigón con una concentración del 3% de nanosílice evidenció una resistencia a la compresión de 380.12 kg/cm², superando así al concreto convencional, que registró una resistencia de 294 kg/cm². Además, se observó una disminución del 64.17% en la exudación y la ocupabilidad se mantuvo dentro de los parámetros aceptables. Se determinó que la integración de nanosílice en pavimentos rígidos incrementa la resistencia mecánica y minimiza de manera significativa la exudación y permeabilidad del concreto. Esto sugiere que la nanosílice es un aditivo eficaz para la optimización de las propiedades del hormigón bajo condiciones de carga elevadas y condiciones meteorológicas adversas. Este estudio ofrece evidencias sólidas sobre los beneficios intrínsecos al uso de nanosílice en pavimentos rígidos, proponiendo su aplicación como una estrategia eficiente para la optimización de la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales en la provincia de Huancayo, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil de las vías. (p. 65).

Este estudio ofrece una perspectiva innovadora respecto al empleo de nanosílice en pavimentos rígidos, evidenciando su eficacia en la optimización de

las propiedades mecánicas y la disminución de la porosidad del hormigón. Este hecho posibilita la propuesta de la nanosílice como una opción factible para abordar los retos de durabilidad en las infraestructuras de transporte, particularmente en regiones que demandan una elevada resistencia frente a cargas de gran envergadura y condiciones meteorológicas desfavorables. Adicionalmente, proporciona una orientación técnica para la creación de nuevos diseños de mezcla que optimicen el desempeño y la sostenibilidad de los pavimentos a nivel nacional.

- ***“Análisis de la influencia de la nanosílice en la resistencia y costo de producción de concretos convencionales elaborados con cementos Yura Tipo I y IP en la ciudad de Arequipa”***, realizado por Saavedra O. (2019) para el desarrollo de su tesis de titulación, se centró primordialmente en examinar la manera en que la nanosílice afecta las propiedades mecánicas y el costo de producción de concretos convencionales. Se llevaron a cabo evaluaciones de dos concentraciones distintas de nanosílice (0.5% y 0.7%) en mezclas de hormigón fabricadas con cemento Yura Tipo I y Tipo IP. Asimismo, se examinaron las propiedades en estado fresco y endurecido, tales como la resistencia a la compresión y la tracción. La adición de nanosílice resultó en un incremento considerable de la resistencia a la compresión y a la tracción en el hormigón, con un incremento del 12.7% en la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla estándar con una relación agua/cemento de 0.55 y una dosis de nanosílice del 0.7%. Adicionalmente, se registró una reducción en el costo de producción del concreto al aplicar nanosílice en dosis del 0.5% en concreto con una relación agua/cemento de 0.55 y cemento Yura Tipo I. Las evaluaciones de rentabilidad indicaron que la nanosílice es más eficaz en el concreto fabricado con cemento Tipo I en comparación con el cemento Tipo IP. Los

hallazgos corroboran que la aplicación de nanosílice no solo optimiza las propiedades mecánicas del hormigón, sino que también disminuye los costos de producción en determinadas mezclas (p. 209).

Este estudio puede constituir una contribución significativa en proyectos de edificación orientados a la mejora de la resistencia del concreto sin incrementar significativamente los costos. La integración de nanosílice no solo contribuye a la mejora de las propiedades mecánicas, sino que además proporciona una solución más económica y sostenible, facilitando de esta manera, la reducción de materiales sin comprometer la calidad estructural. Este aspecto podría resultar particularmente beneficioso en regiones donde la eficiencia en costos y el rendimiento del concreto son factores críticos.

- ***"Análisis de la influencia de la nanosílice en la permeabilidad y resistencia del concreto en la ciudad de Arequipa"***, realizado por los investigadores Dongo P. y Saavedra O. (2021), en su tesis, tuvo como objetivo principal investigar el impacto que tiene la inclusión de nanosílice en la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto, empleando materiales característicos de la zona de Arequipa. Se analizaron las concentraciones de nanosílice del 0.5% y 0.7% en combinaciones de concreto producidas con relaciones agua/cemento de 0.60, 0.55 y 0.50. Se llevaron a cabo pruebas de permeabilidad y resistencia a la compresión en el concreto, tanto en su estado fresco como endurecido. Los resultados indicaron que al utilizar una concentración de nanosílice del 0.5% en el concreto, la permeabilidad del material disminuyó a medida que se reducía la proporción de agua/cemento. Esto resultó en una menor infiltración de agua y un coeficiente de permeabilidad del orden de $10^{(-12)}$ m/s. No obstante, al utilizar una dosis del 0.7%, la capacidad de dejar pasar

fluidos disminuyó solo hasta cierto punto, aumentando posteriormente en combinaciones con proporciones de agua/cemento más bajas. En lo que respecta a la resistencia a la compresión, la adición de nanosílice aumentó de manera notable la resistencia del concreto, especialmente en mezclas con una relación agua/cemento de 0.50, donde se lograron valores de hasta 485 kgf/cm². Este estudio llega a la conclusión de que la inclusión de partículas de sílice a escala nanométrica resulta beneficiosa tanto para disminuir la permeabilidad como para incrementar la resistencia a la compresión del hormigón. Sin embargo, se destaca que el impacto de este aditivo es más significativo en las mezclas con una mayor proporción de agua. Además, es importante destacar que la concentración de 0.5% de nanosílice es más efectiva para aumentar la durabilidad y resistencia del concreto con una relación agua/cemento de 0.60, mientras que la concentración de 0.7% es más adecuada para relaciones de 0.50.

Este estudio aporta valiosos conocimientos para la ingeniería civil y la construcción sostenible. En primer lugar, resalta la importancia de utilizar aditivos como la nanosílice para mejorar las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto, lo que puede resultar en estructuras más resistentes y de mayor vida útil. Además, al evidenciar que una menor relación agua/cemento junto con una concentración adecuada de nanosílice reduce la permeabilidad, el estudio sugiere estrategias efectivas para minimizar problemas relacionados con la infiltración de agua, que es crucial en regiones con condiciones climáticas adversas. Finalmente, esta investigación proporciona una base científica para la optimización de mezclas de concreto en contextos locales, promoviendo el uso de materiales disponibles en la región y fomentando prácticas constructivas más eficientes y sostenibles.

- ***"Mejora de las propiedades del concreto estructural mediante sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por nanosílice - Chimbote"***, Díaz Y. y Estrada J. (2021), en su tesis de pregrado, se plantearon el objetivo general de evaluar la eficacia de la nanosílice en la mejora de las propiedades del concreto estructural. La investigación involucró la elaboración de mezclas con variadas concentraciones de nanosílice (0.3%, 0.8% y 1.3% en peso de cemento), contrastándolas con una muestra estándar sin la inclusión de nanosílice. Se llevaron a cabo evaluaciones de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días con el objetivo de establecer el rendimiento mecánico del concreto. Los hallazgos evidenciaron un aumento notable en la resistencia a la compresión, alcanzando un valor máximo de 324.1 kg/cm² con la incorporación del 1.3% de nanosílice a los 28 días, lo que representa un 154.3% de mejora en comparación con la muestra control. Además, se llegó a la conclusión de que la incorporación de nanosílice no solo incrementa la resistencia a la compresión, sino que también favorece la longevidad del concreto frente a ataques químicos, especialmente en entornos con presencia de sulfatos. La investigación concluye que la nanosílice se presenta como un aditivo eficaz para optimizar las características mecánicas y la durabilidad del concreto estructural, particularmente bajo condiciones de alta agresividad como la exposición a sulfatos. Se sugiere la aplicación de una dosificación del 1.3% en peso de cemento para alcanzar un rendimiento óptimo en lo que respecta a la resistencia a la compresión y durabilidad del material (p. 169).

Este estudio tiene el potencial de contribuir de manera significativa al ámbito de la tecnología del concreto, dado que examina la aplicación de nanosílice como aditivo para optimizar las propiedades mecánicas y la durabilidad del

concreto estructural. Los hallazgos derivados indican que la adición de nanosílice, en concentraciones determinadas, no solo incrementa la resistencia a la compresión, sino que también mejora la durabilidad del concreto frente a ataques químicos, como la exposición a sulfatos. Esta contribución es esencial para el desarrollo de estructuras más robustas y sostenibles, particularmente en contextos agresivos donde la longevidad del concreto es de vital importancia.

Adicionalmente, la investigación ofrece un fundamento científico claro para el empleo de nanoaditivos en el sector constructivo, proporcionando nuevas perspectivas para la innovación en el diseño y producción de materiales de construcción que puedan generar avances en el sector construcción. En consecuencia, se aspira a promover el avance de métodos constructivos más eficaces y duraderos, capaces de contribuir a la mejora de la infraestructura en diversas regiones y condiciones ambientales .

- ***"Impacto de la nanosílice en la hidratación, resistencia, durabilidad y propiedades microestructurales del concreto"***, llevado a cabo por los autores Althoey F. et al. (2023) , su objetivo principal consistió en investigar el impacto de la nanosílice en la hidratación, resistencia y durabilidad del concreto, así como en su microestructura. Se examinaron diferentes porcentajes de nanosílice, variando entre el 2% y el 4%. Los resultados obtenidos revelaron mejoras de importancia en las características mecánicas y físicas del concreto. En los resultados obtenidos, se pudo observar que la adición de partículas de nanosílice tuvo un impacto significativo en el aumento de la resistencia a la compresión del hormigón. Con una concentración de nanosílice del 3%, la resistencia a la compresión a los 28 días aumentó en un 44% en comparación con el concreto sin aditivos. También se ha

observado que la adición de nanosílice contribuyó a disminuir la permeabilidad del concreto al reducir tanto el tamaño como la cantidad de poros, lo que resultó en una mayor resistencia a largo plazo. No obstante, se observó que al exceder el 4% de nanosílice, la resistencia comenzaba a disminuir a causa de la aglomeración de las partículas. En lo que respecta a la microestructura, la nanosílice desempeñó un papel como agente de relleno al mejorar la densidad de la matriz del concreto y al disminuir la cantidad de cristales de hidróxido de calcio, lo que resultó en una mayor compacidad y resistencia del material (p.86).

Este estudio presenta aportes significativos para el sector de la construcción, al evidenciar que la incorporación de nanosílice en las mezclas de concreto puede mejorar tanto la resistencia como la durabilidad del material, convirtiéndolo en una muy buena opción para su aplicación en proyectos de infraestructura de gran exigencia, especialmente en entornos ambientales desfavorables. La capacidad de la nanosílice para disminuir la permeabilidad del concreto también proporciona una ventaja adicional en la protección contra agentes corrosivos, como los cloruros, lo cual contribuye a prolongar la durabilidad de las estructuras. Estos descubrimientos permiten la investigación de nuevas investigaciones acerca de la utilización de nanoaditivos en la industria de la construcción y su capacidad para mejorar las características del concreto en futuros proyectos.

- ***"Optimización del concreto a través de la incorporación de nanosílice, utilizando agregados provenientes de la cantera de Añashuayco en Arequipa"***, Caballero P., Damiani C. y Ruiz A. (2021), tuvieron como propósito principal analizar el efecto de la nanosílice en la resistencia a la compresión y la permeabilidad del concreto producido con los agregados provenientes de la cantera de Añashuayco en

Arequipa. La investigación se enfocó en la incorporación de diversas concentraciones de nanosílice (0.6%, 0.8%, 1.0% y 1.4%) en proporción al peso del cemento. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, evidenciando aumentos significativos a los 28 días, especialmente en las muestras con una adición del 1.4%, las cuales experimentaron un incremento de resistencia del 72.38% en comparación con el hormigón sin aditivos. En relación con la permeabilidad, se pudo observar que los probetas de concreto con nanosílice experimentaron una reducción del 50% en la infiltración de agua, lo cual indica un incremento en la resistencia del material a largo plazo. Los resultados señalaron que la utilización de nanosílice mejora la estructura porosa del hormigón, aumentando su resistencia y disminuyendo su permeabilidad. Se puede concluir que la inclusión de nanosílice resulta beneficiosa para potenciar las características del concreto, lo cual lo vuelve apto para ser utilizado en estructuras y viviendas de bajo costo en la zona de Arequipa (36).

Este análisis presenta propuestas sostenibles para la edificación en Arequipa, al fomentar la utilización de nanosílice y materiales locales, lo cual disminuye gastos y aumenta la solidez de las construcciones, generando beneficios para la población local al proporcionar materiales más duraderas y asequibles.

- ***"Mejora de la fluidez y resistencia del concreto convencional mediante la incorporación de nanosílice, Tarapoto 2021"***, llevado a cabo por los investigadores Crespín S. y Slee M. (2021), tuvo como propósito analizar los efectos de añadir nanosílice en la fluidez y resistencia a la compresión del concreto convencional con una resistencia característica de $f'c = 210$ kg/cm², producido en la localidad de Tarapoto. Se analizaron tres distintas proporciones de nanosílice

(1%, 3% y 5%) que sustituyeron en parte al cemento Portland tipo I. El análisis abarcó pruebas de resistencia a la compresión y pruebas de asentamiento para examinar la variabilidad en las características del hormigón en sus estados fresco y endurecido. Los resultados indicaron que la inclusión de partículas de nanosílice tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión del hormigón. Después de 28 días, la combinación con un 5% de nanosílice mostró un aumento del 31.11% en resistencia en comparación con el diseño estándar, logrando una resistencia de 275 kg/cm². En relación a la fluidez, se pudo notar una reducción gradual en el fraguado del concreto a medida que se incrementaba la concentración de nanosílice, lo cual indica una menor facilidad de manipulación. Sin embargo, la adición de nanosílice mejoró la unión del concreto, disminuyendo la separación y la pérdida de agua (p.55).

Este estudio establece que la utilización de nanosílice representa una opción eficaz para incrementar tanto la resistencia como la durabilidad del concreto, especialmente en situaciones que demandan una mayor densidad y compacidad de propiedades mecánicas. No obstante, es importante tener en cuenta la reducción en la fluidez, ya que podría impactar la ejecución de la obra si no se modifican los métodos de colocación y compactación del concreto.

"Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico mediante la incorporación de nanosílice y fibra de polipropileno para pavimentos rígidos",

Pérez A. (2019), tuvo como propósito principal analizar los efectos de añadir nanosílice y fibra de polipropileno en la permeabilidad y resistencia a la compresión del concreto ecológico fabricado con agregados reciclados. Se analizaron las concentraciones de partículas de sílice a una proporción del 1% y de fibras de

polipropileno a una proporción de 8 kg/m³, las cuales fueron incorporadas en las mezclas de concreto destinadas para pavimentos rígidos. El análisis abarcó pruebas de resistencia a la compresión y permeabilidad con el fin de examinar las características del concreto tanto en su estado fresco como endurecido. Los resultados indicaron que la inclusión de nanosílice y fibras de polipropileno tuvo un impacto positivo en las características del concreto ecológico. Después de 28 días, la combinación con la inclusión de ambos elementos mostró un aumento del 17.27 MPa (176.07 kg/cm²) a 20.56 MPa (209.59 kg/cm²) en resistencia a la compresión, al mismo tiempo que la permeabilidad se redujo de 32.05 mm/s a 28.86 mm/s. Estas mejoras se atribuyeron a la capacidad de la nanosílice para disminuir la porosidad del concreto y a las fibras de polipropileno que aumentaron su cohesión, disminuyendo la formación de grietas y mejorando la durabilidad del material. Este estudio determina que la inclusión de nanosílice y fibras de polipropileno resulta efectiva para incrementar tanto la resistencia como la durabilidad del hormigón ecológico, particularmente en pavimentos rígidos. No obstante, es importante resaltar que la combinación más efectiva fue aquella que incluía tanto nanosílice como fibras, logrando los resultados más favorables en cuanto a resistencia y permeabilidad (p.115).

Este estudio presenta contribuciones significativas para el sector de la construcción sostenible al evidenciar que la incorporación de nanosílice y fibras de polipropileno en el concreto ecológico no solo potencia las características mecánicas del material, sino que también perfecciona su permeabilidad, volviéndolo más idóneo para su aplicación en pavimentos rígidos en áreas con altos índices de precipitaciones. Al emplear materiales reciclados y aditivos avanzados

como la nanosílice, se consigue disminuir el impacto ambiental de la construcción, fomentando la utilización de materiales reciclados y reduciendo la necesidad de recursos naturales no procesados. Además, proporciona una opción viable para aumentar la resistencia y durabilidad de los pavimentos en situaciones climáticas desfavorables, donde la resistencia a la compresión y la permeabilidad son aspectos fundamentales para la longevidad de las construcciones.

- ***"Impacto de la inclusión de nanosílice en un concreto resistente al deslizamiento con resistencia a la compresión de 280 kg/cm² aplicado en cimentaciones profundas con un alto nivel freático"***, llevado a cabo por el investigador Jiménez R. (2022), quien tuvo como objetivo principal analizar los efectos de añadir nanosílice en las características mecánicas y la resistencia al deterioro del concreto resistente al deslizamiento. Este concreto fue diseñado específicamente para cimentaciones profundas que están expuestas a un alto nivel freático. En esta investigación se analizaron las concentraciones de nanosílice al 0.5%, 0.75% y 1%, que fueron incorporadas en las mezclas de concreto con una relación agua/cemento de 0.55. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, exudación, tiempo de fraguado y permeabilidad. Los resultados indicaron que la adición de nanosílice en una proporción del 1% tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, logrando alcanzar 434.4 kg/cm². Este aumento fue significativo en relación al concreto sin aditivos. Adicionalmente, se ha notado que la utilización de partículas de nanosílice disminuyó la exudación del concreto, lo cual incrementó su cohesión y redujo la segregación. El período de endurecimiento inicial se extendió, lo cual resulta ventajoso para su uso en entornos con un alto nivel de agua subterránea, ya que facilita una colocación más precisa

del concreto. Este estudio establece que la inclusión de partículas de nanosílice resulta eficaz en el incremento de la resistencia y durabilidad del concreto impermeable, particularmente en situaciones donde las bases están expuestas a niveles elevados de agua subterránea. La utilización del 1% de nanosílice demostró ser la cantidad adecuada, logrando un equilibrio óptimo entre la resistencia mecánica y las características de manejabilidad del concreto (p.106).

Este estudio posee significativas implicaciones para el diseño de cimentaciones profundas en regiones con elevados niveles freáticos, tales como áreas adyacentes a masas de agua o zonas con acuíferos. La adición de partículas de nanosílice no solo aumenta la resistencia a la compresión del concreto, sino que también mejora su cohesión, lo cual es fundamental para prevenir la exudación y segregación en proyectos sumergidos. Adicionalmente, la disminución de la permeabilidad del hormigón con nanosílice incrementa su longevidad, lo que fortalece las estructuras de cimentación haciéndolas más resistentes a la acción del agua subterránea y otros agentes corrosivos. Estos resultados son especialmente beneficiosos para proyectos de infraestructura en áreas urbanas y rurales, donde las condiciones del nivel freático pueden representar un desafío. Ofrecen una opción más eficaz y perdurable para la edificación de cimientos profundos.

- ***"Optimización de la permeabilidad del concreto ecológico mediante la adición de nanosílice y fibra de polipropileno"***, llevado a cabo por los investigadores Carrasco V. y Fernández H. e(2021), tuvo como propósito examinar la mejora de la permeabilidad y resistencia del concreto ecológico al incorporar nanosílice y fibras de polipropileno, empleando agregados reciclados de concreto. El estudio abarcó una variedad de pruebas mecánicas y de permeabilidad en distintas cantidades de

nanosílice y fibras (0%, 0.5%, 0.75% y 1%) añadidas a un concreto con una resistencia de diseño de $f_c = 280$ kg/cm². Los resultados señalaron que al agregar nanosílice y fibra de polipropileno se aumentó la resistencia a compresión del hormigón, logrando resistencias de hasta 434.9 kg/cm² con una proporción del 1% de nanosílice a los 28 días. No obstante, se ha notado que un incremento en la cantidad de nanosílice no resultaba en una mejora significativa en la resistencia, siendo el porcentaje óptimo el 0.5%. En lo que respecta a la permeabilidad, la adición de fibras de polipropileno mejoró la cohesión del concreto, lo que resultó en una disminución de la permeabilidad y exudación. Este estudio llega a la conclusión de que la inclusión de nanosílice y fibra de polipropileno en hormigones ecológicos no solo aumenta la resistencia a la compresión, sino que también mejora la permeabilidad, convirtiéndolo en una opción viable para pavimentos y cimentaciones en entornos desafiantes. No obstante, es importante considerar que cantidades superiores al 1% podrían carecer de justificación económica, dado que no aportan mejoras significativas a las características del concreto (p.115).

Este estudio proporciona información esencial para el sector de la construcción sostenible, evidenciando que la incorporación de nanosílice y fibras de polipropileno en concreto ecológico puede potenciar de manera significativa tanto la resistencia como la durabilidad del material. La disminución de la permeabilidad y la optimización de la cohesión del hormigón lo convierten en un material idóneo para su implementación en pavimentos y cimentaciones que se ven expuestas a condiciones ambientales desfavorables, tales como elevada humedad o filtraciones de agua. Adicionalmente, la implementación de agregados reciclados fomenta la sostenibilidad en el sector constructivo, al mitigar el impacto ambiental

vinculado a la utilización de materiales vírgenes. Esta metodología, que amalgama la innovación en materiales con la eficiencia constructiva, podría ser implementada en proyectos futuros que persigan un equilibrio entre el desempeño estructural y la responsabilidad ambiental.

- ***"Optimización de la resistencia y durabilidad del hormigón de alta resistencia mediante la incorporación de nanosílice y superplastificante"***, llevado a cabo por Cabanillas H. (2020), buscó explorar el efecto de la incorporación de nanosílice y superplastificante en las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto de alta resistencia con un contenido de cemento de 500 kg/cm². En la presente investigación, se evaluaron concentraciones de nanosílice y superplastificante en diversas proporciones (0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.5%) con el objetivo de discernir su impacto en la resistencia a la compresión y en las propiedades físicas del hormigón. Los hallazgos indicaron que la incorporación de nanosílice mejoró notablemente la resistencia a la compresión del , registrando un incremento del 56.92% en comparación con el hormigón estándar a los 28 días cuando se aplicó un 1% de nanosílice. Además, la incorporación de superplastificante optimizó la trabajabilidad del hormigón, facilitando una compactación más efectiva sin menoscabar su resistencia. La combinación de ambos productos (nanosílice y superplastificante) condujo a mejoras significativas en la resistencia y durabilidad del concreto, alcanzando una resistencia máxima de 826.51 kg/cm². Esta investigación concluye que la incorporación de nanosílice y superplastificante resulta eficaz en la optimización de las propiedades del concreto de alta resistencia, lo que lo convierte en un material adecuado para estructuras sometidas a cargas de

gran magnitud. La dosis óptima identificada fue del 1% de nanosílice, y dosis incrementadas no condujeron a mejoras significativas adicionales (106).

La presente investigación ofrece datos significativos para la edificación de estructuras de alta resistencia, evidenciando que la integración de nanosílice y superplastificante en el concreto potencia su resistencia, durabilidad y manejo. Este aspecto resulta esencial para aplicaciones en proyectos que demandan materiales de alto rendimiento, tales como puentes, rascacielos o infraestructuras sometidas a cargas significativas. Adicionalmente, la implementación de nanosílice favorece la sostenibilidad al disminuir la demanda de cemento, lo cual contribuye a la mitigación del impacto ambiental. Los hallazgos de este estudio indican que la tecnología de nanosílice podría desempeñar un papel crucial en el futuro de la construcción avanzada, optimizando tanto la eficiencia estructural como la sostenibilidad ambiental.

- ***“Diseño y evaluación de concreto resistente a sulfatos mediante la adición de nanosílice para la construcción de canales en la costa norte: Caso Chavimochic Etapa I”***, Castañeda L. y Salguero C. (2020) para el desarrollo de su tesis, con el objetivo general de evaluar una combinación de concreto enriquecido con nanosílice para su aplicación en canales hidráulicos expuestos a sulfatos en la costa norte del Perú, especialmente en el Proyecto Especial Chavimochic: ETAPA I. Esta investigación experimental integró evaluaciones en consonancia con las regulaciones nacionales e internacionales (NTP, ASTM y NTC) con el propósito de analizar las propiedades de los agregados, agua y concreto en sus estados fresco y endurecido. Se realizaron experimentos con variados grados de nanosílice (0.2%, 0.225% y 0.25%) en la mezcla de concreto, concluyendo que la adición del 0.225%

ofrecía una mayor trabajabilidad y una relación agua/cemento de 0.45. Los descubrimientos señalaron que el nanosílice incrementó un 3.41% en la resistencia a la compresión y un 19.48% en la resistencia a la tracción a los 28 días, en comparación con el concreto simple. Además, las muestras con nanosílice manifestaron una disminución del 50% en su deterioro como resultado de una exposición a sulfatos. Este postulado sugiere que la nanosílice no solo potencia la resistencia mecánica del concreto, sino que también prolonga su vida útil en contextos de alta agresividad, como los canales hidráulicos expuestos a sulfatos en la costa norte del Perú (p.178).

Esta investigación ofrece información relevante respecto a la aplicación de nanosílice para incrementar la resistencia a los sulfatos del hormigón en estructuras hidráulicas. La investigación demuestra que la integración de nanosílice atenúa significativamente el deterioro inducido por sulfatos, un elemento crucial para proyectos en la costa norte del Perú, donde estos compuestos son extremadamente agresivos para las estructuras de concreto existentes. La habilidad de la nanosílice para incrementar la durabilidad y resistencia del hormigón frente a ataques químicos constituye una contribución notable en el diseño y construcción de canales y otras estructuras en regiones con condiciones ambientales adversas.

- ***"Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto con ACR empleando aditivo nanosílice"***, llevado a cabo por Ayala K. y Ccallo, M. (2020), se centró primordialmente en examinar el impacto de la nanosílice en las propiedades del concreto utilizando agregados reciclados de concreto (ACR). La investigación evaluó combinaciones de nanosílice (0%, 0.75%, y 1%) y ACR (0%, 50%, y 100%), con un enfoque particular en la resistencia a la compresión y la resistencia a la

tracción del hormigón a los 7, 14, y 28 días. Las muestras se contrastaron con concreto convencional exento de nanosílice. Los hallazgos evidenciaron que la incorporación de nanosílice mejoró la resistencia a la compresión del hormigón reciclado, logrando una mejora del 21% en comparación con la mezcla sin nanosílice (M3) a los 28 días. La combinación óptima resultó ser la M4 (100% ACR y 1% nanosílice), que sobrepasó incluso al concreto convencional (M0) sin aditivos. Adicionalmente, el concreto con nanosílice demostró una cohesión superior, lo que disminuyó la porosidad y mejoró la densidad del material. La conclusión de este estudio es que la integración de nanosílice en concreto con ACR representa una opción factible para optimizar las propiedades mecánicas del material, lo que lo convierte en un material adecuado para aplicaciones estructurales en el sector de la construcción. Adicionalmente, la aplicación de ACR en combinación con nanosílice constituye una alternativa sostenible y eficaz, contribuyendo a la minimización de desechos derivados de la construcción (106).

Este estudio propone estrategias sostenibles para el sector constructivo, evidenciando que la combinación de agregados reciclados de concreto (ACR) con aditivos de nanosílice optimiza tanto la resistencia a la compresión como la cohesión del material. Esta metodología contribuye a la disminución de la dependencia de materiales vírgenes, fomentando un enfoque más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Adicionalmente, la implementación de la tecnología de nanosílice en una diversidad de proyectos estructurales podría proporcionar una solución duradera y eficaz para la edificación en zonas urbanas y rurales.

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Concreto

El concreto se constituye mediante la combinación de cemento, arena, grava o piedra triturada con agua. Al fusionarse, estos componentes producen una pasta que, al fraguar y endurecer, adquiere características de resistencia equiparables a las de las rocas de origen natural. En función de las exigencias particulares del proyecto, esta mezcla puede integrar aditivos que potencian determinadas características del concreto, tales como su capacidad de trabajo, durabilidad o tiempo de fraguado (NTP 339.047, 2006).

1.3.1.1. Aspectos Generales

Para garantizar una resistencia a la compresión (f'_c) que satisfaga los criterios del proyecto, se requiere una dosificación del concreto. De acuerdo con la normativa del American Concrete Institute (ACI, 2000), a menos que los planos y las especificaciones del proyecto sean expresamente diferentes, las evaluaciones de resistencia deben realizarse en cilindros de concreto después de 28 días de curado. El Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, emitido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, declara que el hormigón debe dosificarse para garantizar los criterios de durabilidad y la resistencia media requerida. A menos que se especifique otra cantidad de días de la estructura proyectada, se requieren pruebas de muestras cilíndricas después de 28 días. Para asegurar manualidad según las condiciones ofrecidas, el concreto debe cumplir con los criterios de durabilidad según ambos estándares.

1.3.1.2. Usos del concreto

Según Kosmatka et al. (2004). El concreto se destaca como uno de los

materiales de construcción más empleados, atribuible a su versatilidad, durabilidad y economía. Es utilizado en una diversidad de aplicaciones, incluyendo carreteras, puentes, edificios y pisos, debido a su capacidad para ser moldeado y adaptado a variadas formas para satisfacer las exigencias estructurales y funcionales de cada proyecto. La optimización de las mezclas de concreto se fundamenta en la correcta proporción de sus componentes, tales como cementos, agregados, agua y aditivos, con el objetivo de alcanzar las propiedades requeridas de resistencia y durabilidad.

1.3.1.3. Relevancia del concreto en la construcción

El concreto es un material vital en la construcción. Lo que se debe a la capacidad de ser moldeado, la firmeza que se consigue en el fraguado y la versalita para varias formas, por lo tanto, lo hacen ser el material más adecuado para una gama diversa de aplicaciones como carreteras, puentes, edificios y pavimentos. Es el más útil ya que es fuerte y más adecuado para soportar cargas elevadas, es rentable, comercial y resistente a la intemperie y el uso, entre otros. Además de ser versátil según las necesidades de cada proyecto, por lo tanto, es imprescindible en cualquier construcción civil. (Kosmatka et al., 2004).

1.3.1.4. Propiedades Físico-Mecánicas de concreto

1.3.1.4.1. Asentamiento

El ensayo de asentamiento en cono es la técnica esencial para cuantificar tanto la consistencia como la capacidad de trabajo del concreto y, por lo tanto, permite el control de la fluidez de la mezcla acorde con las exigencias del proyecto. La consistencia del concreto puede ser alterada

mediante la simple adición de agua, pero tal fórmula solo aumentará la probabilidad de segregación y reducirá la durabilidad. (Kosmatka et al., 2004, p. 175-191).

○ **USO:**

El ensayo de asentamiento es un método para definir la consistencia de la mezcla de concreto, ya que evalúa la fluidez debido al hundimiento de la mezcla después de la liberación de su naturaleza cónica del molde. En particular, la consistencia definida por el ensayo de asentamiento de cono de Abrams determina la capacidad de trabajo del concreto, pero no es un método para comparar diferentes diseños de la mezcla. Por lo tanto, se puede ajustar su asentamiento agregando más agua; sin embargo, el exceso de agua afectará a la calidad y a la fuerza de la estructura final. (ACI, 1991, p. 3).

1.3.1.4.2. Peso Unitario

el peso unitario del concreto especifica al peso por unidad de volumen del mismo concreto, que incluye no solo los componentes de la mezcla, como los agregados, el cemento y el agua, sino también el volumen de aire que contiene la mezcla. El peso unitario es un parámetro necesario, dado que la influencia está presente en la resistencia y durabilidad actuales del concreto. A menudo, una mayor densidad, lo que equivale a un aumento en el peso por unidad de volumen, está correlacionada con una mayor resistencia a la compresión y un mejor rendimiento estructural de la mezcla. Además, un peso unitario más bajo del concreto puede indicar que la mezcla es susceptible a problemas de durabilidad, como la infiltración de agua y

agentes agresivos. Por lo tanto, la relevancia del peso unitario radica en su capacidad para influir en las características mecánicas y físicas del concreto durante su ciclo de vida. (Neville, 1995, p. 34).

El peso unitario del concreto convencional varía de 2200 a 2400 Kg / m³ 137 a 150 peso a granel libras / pie³. Esto dependerá de la cantidad de aire atrapado, la densidad de los agregados y la cantidad de agua-cemento utilizado. La densidad del concreto reforzado en general, incluyendo el refuerzo, es 2400 Kg / m³ 150 libras / pie³. La densidad suelta de los agregados comúnmente utilizados en la mezcla de concreto normal es de 1200 a 1750 Kg / m³ 75 a 110 libras / pie³, y esto está influenciado por la cantidad de vacíos entre las partículas, que varía de 30% a 50%. (Kosmatka et al., 2004, p. 191-192).

1.3.1.4.3. Temperatura

La temperatura del concreto es un parámetro fundamental para el diseño de mezcla, ya que afecta la velocidad de endurecimiento y la hidratación del cemento. En climas calientes o condiciones de calor extremo, la temperatura debe controlarse de manera eficiente para que la mezcla no se endurezca muy rápido. De lo contrario, perjudicará la trabajabilidad para la fabricación de concreto y, a largo plazo, la durabilidad de este, ya que se verá comprometida directamente. (ACI, 1991, p. 10).

1.3.1.4.4. Resistencia a la Compresión

ACI 318 (2014), La resistencia a la compresión es otro indicador de la capacidad del concreto para resistir fuerzas en disminución de magnitud.

Este rasgo es fundamental para la ingeniería estructural, ya que genera una mejor durabilidad de los componentes de concreto contra las cargas aplicadas. La resistencia a la compresión se evalúa de manera estándar en cilindros o cubos de concreto bajo condiciones controladas de carga y se mide en megapascales. Estas mediciones cuantitativas proporcionan una representación específica de la cantidad de carga que el hormigón puede resistir antes de fallar. Estos cálculos cuantitativos tienen un papel crucial en todo el proceso de diseño de estructuras para viviendas y puentes. Además, variantes como la mezcla de materiales, el tiempo de curado y el procedimiento de compactación influyen directamente en la resistencia final. Basado en esto, el comité de regulaciones de ACI 318 ha establecido reglas y regulaciones específicas para garantizar que las pruebas de compresión y el diseño de concreto se adhieran a los niveles requeridos de protección y desempeño.

Para Kosmatka et al., (2004), La resistencia a la compresión del concreto es su resistencia a las fuerzas de vibración o aplastamiento. La resistencia a la compresión es importante para la construcción de puentes, estructuras abiertas, edificios, etc. Las pruebas se utilizan para medir cuánta fuerza de compresión puede soportar el concreto, los tubos de hormigón grandes son de 150 mm de ancho y 300 mm de alto, los tubos de hormigón pequeños son de 100 mm de ancho y 200 mm de alto. Las resistencias de los tipos de hormigón más comunes fluctúan entre 20 y 40.000 psi. Para proyectos especiales, como puentes y edificios de gran altura, utilizamos hormigón con una resistencia de entre 70 y 140.000 psi. (P.9).

1.3.1.4.5. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción del concreto se refiere a la capacidad de la cementación para resistir fuerzas que ejerzan presión sobre el material. Aunque el hormigón posee una notable fortaleza en términos de compresión, presenta una notable deficiencia en términos de tensión, lo que implica que la medida es crucial para determinar la resistencia de este material a las tensiones. La evaluación se lleva a cabo mediante pruebas directas e indirectas de tracción, incluyendo el ensayo brasileño, que posibilita la cuantificación de la carga requerida para su fractura. (ASTM C496, 2017).

Para Kosmatka et al. (2004), En el presente escenario, la resistencia a la tracción del concreto se refiere a su habilidad para resistir fuerzas que tienden a estirarlo o extenderlo. La importancia particular de la resistencia a la tracción radica en que, a pesar de que el concreto presenta una resistencia considerable a la compresión, su resistencia a la tracción es relativamente baja. La resistencia a la tracción muestra la respuesta del concreto ante las cargas que generan tensiones de tracción, y su cuantificación contribuye a una comprensión más profunda de su desempeño estructural bajo tensiones de flexión. La resistencia a la tracción del concreto puede ser cuantificada de manera directa o indirecta, siendo la holgura diametral un método frecuentemente utilizado para cuantificar la resistencia indirecta. (p.9)

1.3.1.4.6. Permeabilidad del concreto

La permeabilidad del concreto es su capacidad de permitir que el agua, el aire u otros fluidos se muevan a través de su matriz. En términos más

generales, establecimiento de la permeabilidad reducida de la industria para la armadura húmeda. No existe denominador común de datos de longevidad en relación con las estructuras, sin embargo, la medida de un mínimo de la vida útil teórica en un rango de 75 a 100 años ayudará a mantener la integridad de estas estructuras. El ACI 318S-14, de acuerdo con lo que se conoce a la fecha, presupone que la minimización de la permeabilidad de la industria puede lograrse mediante el diseño de la mezcla, aumento curado y el uso de aditivos. (American Concrete Institute, 2014).

El principio básico de la composición del concreto, la relación agua-cemento, se puede disminuir considerablemente también para los concretos de alta calidad, y debido al tipo del piloto de cemento, geles de cemento y nivel de hidratación, y el periodo de curado. Como resultado, los hormigones de alta calidad terminan siendo significativamente menos permeables. Esto aumenta considerablemente la resistencia a la penetración de sulfatos y cloruros y la durabilidad. (Kosmatka et al., 2004).

Se determina a través de pruebas de tracción directa, pruebas de deslizamiento de barras o ensayos de flexión de elementos compuestos, que establecen la fuerza requerida para separar el concreto del material adherido (ACI Committee 408, 2003).

1.3.1.4.7. Resistencia Sulfatos

La resistencia a los sulfatos en el concreto implica la capacidad intrínseca del material para soportar los daños estructurales causados por la interacción química con los sulfatos presentes en el suelo y / o el agua

circundante. Tal resistencia sobresaliente es crítica para garantizar la durabilidad y la integridad a largo plazo de varias estructuras de concreto expuestas a condiciones ambientales sumamente hostiles. Este tipo de ataque químico tiende a desencadenar reacciones adversas en la composición del material a su alcance. Un ejemplo destacado sería la formación de compuestos altamente expansibles, como la etringita, que, a su vez, resultan en una reducción significativa en la cohesión y resistencia estructural del material de concreto. El concreto con aire incluido; bajo contenido de agua y la adición de cementos especiales, como el tipo V (según lo identificado por la norma ASTM), demuestran una notable resistencia a los distintos tipos de ataques químicos y condiciones ambientales a los que puede ser expuesto en su ambiente de aplicación. Asimismo, la inclusión de ciertos materiales suplementarios, tales como la escoria granulada de alto horno o la ceniza volante, constituyen una significativa contribución a la superioridad de la resistencia estructural de la construcción de edificaciones y obras civiles. Para determinar la resistencia de la apariencia de los sulfatos en el caso de distintos materiales utilizados en la industria de la construcción de pruebas es comúnmente requerido la prueba de barra de mortero saturado, tal como definida por la norma ASTM C 1012. Sin embargo, sería altamente recomendable tener en cuenta la posibilidad de emplear cementos especialmente diseñados y fabricados para resistir condiciones de exposición extremadamente corrosivas, tal y como lo sugiere claramente la prestigiosa Asociación de Fabricantes de Cemento Portland en su detallada publicación (Kosmatka et al., 2004, p. 342).

1.3.1.4.7.1. Nivel de Exposición a Sulfatos

- **Exposición Insignificante:** el grado de exposición para el cual el contenido de sulfato soluble en el suelo está en el rango de 0.0-0.1% en masa y para el agua 0-150 ppm. No se requiere un tipo de cemento especial.
- **Exposición Moderada:** el sulfato como suelo soluble está en concentración entre 0.1-0.2% en peso y entre 150-1500 ppm en agua. Para este caso, se deben usar cementos de tipos II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS) o I(SM)(MS) (RNE, 2006).
- **Exposición Extrema:** En tales condiciones, por ejemplo, el suelo puede contener entre 0.2% y 2.0% en peso, con agua que contiene entre 1500-10000 ppm de sulfatos. Para tales condiciones, de acuerdo con el RNE, Norma E 060, 2006, se debe usar cemento tipo V.
- **Exposición Muy Severa:** A un nivel donde el sulfato en el suelo alcanza o supera el 2.0% en peso y en el agua alcanza o supera los 10,000 ppm. Se debe usar cemento tipo V con adición de puzolana.

Tabla 1

Requisitos de Relación Agua-Cemento y Tipo de Cemento según Nivel de Exposición a Sulfatos

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje en peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal	f'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero
Insignificante	$0,0 \leq SO_4 < 0,1$	$0 \leq SO_4 < 150$	—	0,50	28
Moderada	$0,1 \leq SO_4 < 0,2$	$150 \leq SO_4 < 1500$	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0,50	28
Severa	$0,2 \leq SO_4 < 2,0$	$1500 \leq SO_4 < 10000$	V	0,45	31
Muy severa	$2,0 \leq SO_4$	$10000 \leq SO_4$	Tipo V más puzolana	0,45	31

Nota: * Este cuadro fue obtenido del RNE

1.3.1.4.7.2. Requisitos de Diseño del Concreto según Condiciones de Exposición

- **Baja permeabilidad en exposición al agua:** esta es la condición en la que el concreto se utilizará y se determinará a la exposición del agua. Bajo esta condición, se asume que el concreto tendrá que restringir su permeabilidad al agua. Se recomienda el valor máximo de la relación agua-cemento de 0.5 y la resistencia a la compresión de 28 MPa.
- **Exposición a ciclos de congelamiento y deshielo:** Bajo esta condición, el concreto se someterá repetidamente a ciclos de congelación y descongelación. Por lo general, en ambientes húmedos y durante el uso de químicos descongelantes de carreteras. La recomendación para esta clase es una relación agua-cemento máxima

de 0.45 y una resistencia a la compresión de 31 MPa.

▪ **Exposición a cloruros (protección del refuerzo de acero):**

Condición en la que el concreto se expone a cloruros provenientes de agentes descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o sus salpicaduras. En este caso, se sugiere una relación agua-cemento máxima de 0.40 y una resistencia mínima de 35 MPa para proteger el acero de refuerzo contra la corrosión (RNE, Norma E 060, 2006).

Tabla 2

Requisitos de Relación Agua-Cemento y Resistencia para Diferentes Condiciones de Exposición del Concreto

Condición de Exposición del Concreto	Relación Máxima Agua-Cemento (peso) para Concretos de Peso Normal	Resistencia Mínima ($f'c$) en MPa
Baja permeabilidad en exposición al agua	0,50	28
Exposición a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes	0,45	31
Exposición a cloruros (protección de refuerzos de acero contra corrosión por sal, agua salobre, agua de mar, etc.)	0,40	35

Nota: * Este cuadro fue obtenido del RNE

1.3.1.5. Componentes del Concreto

1.3.1.5.1. Cemento Portland

El cemento Portland es una variedad de cemento hidráulico producido a través de la pulverización de una combinación de materiales calcáreos y arcillosos. Al ser combinados con agua, estos materiales experimentan una serie de reacciones químicas que lo endurecen y confieren resistencia. Se compone primordialmente de silicatos de calcio y puede incorporar mínimas cantidades de sulfato de calcio para regular el tiempo de fraguado (Kosmatka et al., 2004, p. 23)

1.3.1.5.1.1. Producción de Cemento Portland

El procedimiento de producción del cemento Portland implica la calcinación de materiales, tales como la caliza y la arcilla, los cuales son sometidos a trituración hasta transformarlos en un producto fino. Este procedimiento de calcinación genera el clínker, el cual, tras su molienda y combinación con otros compuestos, da lugar al cemento Portland (Kosmatka et al., 2004, p. 34)

1.3.1.5.1.2. Tipos de Cemento Portland

- **Cemento Portland Tipo I (Normal):** Este cemento es adecuado para su utilización general en la construcción, incluyendo pavimentos, puentes, estructuras y otras estructuras que no necesitan características especiales (Kosmatka et al., 2004, p. 34) .
- **Cemento Portland Tipo II (Resistencia moderada a los sulfatos):** Se emplea cuando se necesita una resistencia incrementada a los

sulfatos, frecuentemente en estructuras que interactúan con suelos o aguas ligeramente agresivas (Kosmatka et al., 2004, p. 35).

- **Cemento Portland Tipo III (Resistencia Inicial Alta):** Se utiliza en proyectos que demandan un desarrollo de resistencia acelerado, tales como pavimentos y estructuras sometidas a cargas tempranas (Kosmatka et al., 2004, p. 36).
- **Cemento Portland Tipo IV (Bajo calor de hidratación):** Se emplea en proyectos de gran volumen de hormigón, en los que es necesario regular el calor producido durante el proceso de fraguado, como en presas (Kosmatka et al., 2004, p. 36).
- **Cemento Portland Tipo V (Resistencia Alta a los Sulfatos):** Este cemento ha sido diseñado para su aplicación en contextos altamente agresivos, tales como cimentaciones en contacto con agua marina o suelos con elevado contenido de sulfatos (Kosmatka et al., 2004, p. 36).

1.3.1.5.2. Agregado

Los agregados, constituidos por materiales granulares tales como arena, grava o piedra desmenuzada, se amalgaman con cemento para producir concreto o mortero. Estos componentes contribuyen al incremento volumétrico y optimizan las propiedades mecánicas del hormigón, incluyendo la resistencia y la durabilidad (Kosmatka et al., 2004, p. 103). Los agregados se caracterizan como materiales que se amalgaman con el cemento y el agua para generar concreto. Estos agregados deben satisfacer determinados criterios de dimensiones y propiedades para garantizar la

durabilidad y la manejabilidad del concreto (American Concrete Institute, 1996, p. 107). La Norma NTP 400.011 La regulación estipula la definición y categorización de los agregados destinados al uso en morteros y concretos, caracterizando los agregados finos como aquellos que se someten al tamiz de 75 μm (No. 200), y los agregados gruesos como aquellos que quedan retenidos en dicho tamiz (Instituto Nacional de Calidad, 2001, p. 106).

1.3.1.5.2.1. Tipos de agregados:

- **Agregados Finos:** Los agregados finos se componen primordialmente de arena natural o piedra triturada, con una mayor proporción de partículas que no superan los 5 mm (0.2 pulgadas) (Kosmatka et al., 2004 p. 103).
- **Agregados gruesos:** Los agregados de gran grosor comprenden grava y piedra triturada, con partículas que superan los 5 mm y suelen oscilar entre 9.5 mm y 37.5 mm (Kosmatka et al., 2004, p. 103).

1.3.1.5.3. Agua

El agua presente en el concreto desempeña un papel crucial en la hidratación del cemento y en la evolución de sus propiedades mecánicas. Se emplea con el objetivo de estimular el proceso de hidratación del cemento y construir una estructura sólida. No obstante, una sobreabundancia de agua puede resultar en porosidad, lo cual incide negativamente en la durabilidad y resistencia del hormigón. De acuerdo con el Diseño y Control de Mezclas de Concreto, la proporción agua-cemento es fundamental para regular dichas propiedades y asegurar una mezcla apropiada y concreto de buena calidad

(Kosmatka et al., 2004, p. 191).

1.3.1.5.4. Aditivos

Los aditivos en el concreto son un componente suplementario fuera del cemento, el agua y los agregados que se incorpora a la mezcla inmediatamente antes o durante el proceso de mezcla. Los aditivos desempeñan un papel crucial en la modificación controlada de las propiedades del concreto. Las funciones primordiales de los aditivos incluyen: la incorporación de aire, la reducción de la cantidad de agua requerida, la aceleración o retardación del fraguado, la inhibición de la corrosión y la mejora de la trabajabilidad del hormigón. Cada categoría de aditivo desempeña una función particular y su aplicación debe ser ajustada a las condiciones del proyecto y los materiales utilizados (Kosmatka et al., 2004, p. 135).

1.3.1.5.4.1.1. Tipos de aditivos

Los principales tipos de aditivos empleados en la fabricación de concreto comprenden:

- **Aditivos de reducción de agua:** Facilitan la disminución del volumen de agua requerido para alcanzar una trabajabilidad particular, potenciando la resistencia y durabilidad del concreto.
- **Aditivos de aire incluso:** Incorporan diminutas burbujas de aire distribuidas de manera uniforme, lo cual optimiza la resistencia a los ciclos de congelación-deshielo.

- **Aditivos aceleradores:** Propician una aceleración en el proceso de fraguado y en el desarrollo de la resistencia inicial, resultandos beneficiosos en situaciones de clima frío.
- **Aditivos retardadores:** Mitigan el fraguado del concreto con el objetivo de prolongar su tiempo de manipulación, particularmente en condiciones climáticas cálidas.
- **Aditivos superplastificantes (o reductores de agua de alto rango):** Incrementan significativamente la fluidez sin la necesidad de añadir más agua, facilitando la obtención de mezclas más productivas sin impactar negativamente en la resistencia.
- **Aditivos contra la corrosión:** Salvaguardan las armaduras de acero de la corrosión provocada por los cloruros.
- **Aditivos contractores:** Mitigan la contracción durante el proceso de secado, minimizando así el riesgo de fisuración.
- **Aditivos destinados a potenciar la resistencia a la abrasión e impacto:** Empleados para prolongar la durabilidad superficial del hormigón en aplicaciones que demandan una mayor resistencia al desgaste.

Cada categoría de aditivo se elige en función de las exigencias del proyecto y las circunstancias ambientales en las que se empleará el concreto (Kosmatka et al., 2004, p. 135-138)

1.3.2. Nanotecnologías en el concreto

La nanotecnología en el concreto conlleva la implementación de nanomateriales con el objetivo de optimizar las características del concreto, tales como su resistencia, durabilidad y manejabilidad. Esto posibilita la modificación del comportamiento del concreto mediante la integración de nanomateriales, como el nanosílice, que potencia la compacidad y la resistencia del concreto. Este objetivo se alcanza mediante el control del comportamiento de los materiales a escala nanométrica, permitiendo, entre otras cosas, la creación de concretos con características de autolimpieza, autoreparación y resistencia optimizada. (González, 2016, p. 17).

1.3.2.1. Nanosílice o nanopartículas de Dióxido de silicio (SiO₂)

El nanosílice es un material caracterizado por partículas extremadamente finas, comúnmente inferiores a 100 nanómetros, se emplea como aditivo en el hormigón con el objetivo de optimizar diversas propiedades, tales como la resistencia mecánica, la durabilidad y la compacidad. Al incorporarse a las mezclas de hormigón, las partículas de nanosílice reaccionan rápidamente con el hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) presente en la pasta de cemento, generando así adicionalmente geles de silicato de calcio hidratado que disminuyen la porosidad del hormigón y optimizan su rendimiento global (Kosmatka et al., 2004, p. 213).

La nanosílice constituye un aditivo en estado líquido que se deriva de partículas microfinas de dióxido de silicio amorfo (SiO₂) en estado amorfo. Estas partículas exhiben un tamaño reducido, una elevada pureza y reactividad, factores que facilitan la obtención de resultados superiores en su aplicación.

Opera como un agente significativo de reducción de agua y exhibe una elevada actividad puzolánica (Sikacrete® NT, 2020).

1.3.2.1.1. Usos del Nanosílice o nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂)

Como se detalla en la especificación técnica de Sikacrete® NT (2020), la nanosílice es un aditivo líquido constituido primordialmente por nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂) en estado coloidal. Este producto facilita la optimización de múltiples características del hormigón, incluyendo su resistencia y durabilidad, además de disminuir su permeabilidad. Este componente se emplea en concretos de alto rendimiento con el objetivo de incrementar la cohesión y reducir la exudación, lo que lo convierte en un componente indispensable en aplicaciones especializadas.

Usos principales:

- Concreto de alta resistencia.
- Concreto autocompactante (HAC).
- Concreto de alto desempeño y durabilidad.
- Morteros y lechadas de inyección.
- Como reemplazo de microsílice

1.3.2.1.2. Características del Nanosílice o nanopartículas de dióxido de silicio (SiO₂)

La aplicación de la nanosílice en combinación con un superplastificante optimiza las propiedades del concreto hacia un material más eficiente y duradero. Entre las propiedades del concreto del que se

aplicaría la nanosílice se encuentran: trabajabilidad excepcional, la cohesión elevada y exudación baja, el incremento de la vida útil, una resistencia elevada y un incremento de la inercia hidráulica. La nanosílice, en combinación con un superplastificante, confiere al concreto características optimizadas que lo convierten en un material más eficiente y duradero (Sika, 2020).

1.3.3. Diseño de Mezcla

El diseño de una mezcla de hormigón es un procedimiento meticuloso y meticuloso que tiene como objetivo asegurarse de que la mezcla final cumpla con los criterios de rendimiento deseados en estado fresco y final. Dicho procedimiento implica seleccionar cuidadosamente ingredientes para una mezcla, incluidos cemento, agregado, agua y, en ocasiones, fibras o aditivos. El resultado es llegar a una mezcla que se ajuste a las propiedades deseadas de operabilidad, resistencia y durabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la abrasión y al ciclo de hielo, y otras propiedades. Para diseñar adecuadamente, el hormigón debería tener propiedades tales como las típicas en fresco: operabilidad, consistencia, contenido de aire, etc., propiedades mecánicas en estado final: fuerza en compresión, flexión y movimiento, así como la permeabilidad y la resistencia y, en lo que a otros se refiere, restricciones en los ingredientes, debido a regulaciones y actitud medioambiental. La idea misma de conseguir una mezcla de calidad implica crear una fórmula con la combinación más efectiva de materiales requeridos, no solo con el fin de beneficiar las capacidades técnicas de la solución, sino también con respecto a la economía de los materiales que se utilizan. Esto garantiza la viabilidad técnica y financiera de la mezcla (Kosmatka et al 2004, p. 184).

En relación con el ACI (2002). El diseño de mezcla se refiere al procedimiento de elegir las proporciones apropiadas de los componentes del hormigón para lograr las propiedades requeridas en sus estados fresco y endurecido, conforme a las especificaciones y condiciones del proyecto.

1.3.3.1. Proceso del diseño de Mezcla

El diseño de la mezcla de concreto se rige por una secuencia de etapas que posibilitan la determinación de las proporciones óptimas de los componentes, las cuales asegurarán el rendimiento óptimo del concreto bajo las condiciones especificadas. Se procederá a detallar los procedimientos, basándose en el documento suministrado por Kosmatka et al. (2004, p. 185).

- I. **Proceder a la identificación del tipo y las características de los materiales empleados:** cemento, agua, agregados finos y gruesos, aditivos y, en caso de ser necesario, materiales cementantes adicionales Kosmatka et al. (2004, p. 185).
- II. **Definición de las características del hormigón fresco:** determinar las propiedades necesarias para el concreto fresco, tales como su trabajabilidad, su revenimiento, su contenido de aire y su facilidad de instalación. Kosmatka et al. (2004, p. 185).
- III. **Definición de las características del concreto endurecido:** El proyecto requiere establecer los requerimientos de resistencia a la compresión, durabilidad, permeabilidad, entre otras propiedades pertinentes Kosmatka et al. (2004, p. 185).

- **Determinación de Resistencia requerida**

Tabla 3
Determinación de la Resistencia Requerida

Resistencia de diseño	Resistencia de diseño requerida f'_{cr}
$f'c$ (kg/cm ²)	f'_{cr} (kg/cm ²)
Menos de 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
Sobre 350	$f'c + 98$

Nota: *ACI 211 (2002)

- **Determinación del asentamiento**

Tabla 4
Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción

Tipo de estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin esfuerzo	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	3"	1"

Concreto masivo	3"	1"
-----------------	----	----

Nota: *ACI 211 (2002)

- Determinación del tamaño máximo Nominal según el análisis granulométrico.

IV. **Establecimiento de la relación agua-cemento:** Es necesario seleccionar la relación agua-cemento que brindará la resistencia requerida, manteniendo simultáneamente la durabilidad apropiada para las condiciones de exposición Kosmatka et al. (2004, p. 185).

Tabla 5

Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción

F'cr (28 días)	Relación agua / cemento diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.53
250	0.62	0.46
280	0.57	0.40
300	0.55	--
350	0.48	--
400	0.43	--

420	0.41	--
450	0.38	--

Nota: *ACI 211 (2002)

Tabla 6

Máxima Relación Agua/Cementos Permisibles para Concretos Sometidos a Condiciones Especiales de Exposición

CONDICIONES DE EXPOSICIÓN	RELACIÓN DE AGUA/CEMENTO MAXIMA
Concreto de baja permeabilidad:	0.50
a) Expuesto a agua dulce.	
b) Expuesto a agua de maro aguas salobres.	0.45
c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)	0.45
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:	
a) Sardineles, cunetas, secciones y delgadas.	0.45
b) Otros elementos.	0.5
Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.	0.40

Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.40
--	------

Nota: * Norma Técnica de Edificación E.060.

- V. **Selección del contenido atmosférico:** Para ello se debe establecer la cantidad de aire incorporado para garantizar la resistencia a la congelación y deshielo bajo condiciones climáticas frías o para satisfacer otras demandas particulares Kosmatka et al. (2004, p. 185).

Tabla 7

Determinación de Aire Atrapado

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

Nota: ACI 318 (2019)

- VI. **Establecimiento del contenido acuoso:** El cálculo de la cantidad de agua de mezcla requerida para lograr la trabajabilidad deseada se

realizará en función del asentamiento necesario y del tamaño máximo del agregado Kosmatka et al. (2004, p. 185).

Ecuación 1

Determinación de Agua Efectiva

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Agua Total} - (\text{Absorción de Agua por Agregados} \times \text{Peso de Agregados}) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

- Agua Total: Es la cantidad total de agua añadida a la mezcla.
- Absorción de Agua por Agregados: Es el porcentaje de agua que los agregados pueden absorber, que se determina a través de pruebas.
- Peso de Agregados: Es el peso de los agregados en la mezcla

VII. **Determinación del contenido cementante:** Basándose en la proporción agua-cemento seleccionada y el contenido de agua, se determina la cantidad de cemento requerida Kosmatka et al. (2004, p. 185).

Ecuación 2

Determinación de la Cantidad de Cemento

$$\text{Contenido de Cemento} = \frac{W}{a/c} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

W: es el peso del agua en la mezcla (kg).

a/c es la relación agua/cemento.

VIII. **Establecimiento de los agregados:** Se procederá a seleccionar las proporciones apropiadas de agregados finos y gruesos basándose en su granulometría y las proporciones necesarias Kosmatka et al. (2004, p. 186).

Tabla 8

Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen del Concreto

Tamaño máximo nominal Pulg.	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de finura			
	MODULO DE FINURA DEL AGRAGADO FINO			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.75	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: ACI 211 (2002)

- **Gruesos:** Para determinar el peso de los agregados gruesos en un m³ de concreto, se debe determinar mediante la siguiente ecuación, según la ACI 211 (2002):

Ecuación 3

Peso del Agregado Grueso

$$P. A. G. = \frac{b}{bo} *$$

PUCAG.....(3)

Donde:

- P. A. G.: peso del agregado grueso
- b: Volumen seco compactado del AG
- bo: Volumen de concreto
- PUCAG: Peso Unitario Compactado del
AG

- **Finos:** Para determinar el volumen del agregado fino, es necesario efectuar la representación de volúmenes absolutos correspondientes a cada material. Hasta la fecha, los pesos secos de cemento, agua, los agregados y el aire, como se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9

Volúmenes Absolutos de los Elementos del Concreto

Material	Peso seco (kg)	Volumen Absoluto (m³)
Cemento	P. cemento	PC/P.E cemento (A)
Agua	P. agua	PA/P.E agua (B)
Agregado grueso	P. piedra	PAG/P.E piedra (C)

Aire	% aire	% aire/100 (D)
Agregado fino	$\text{Vol. Agregado fino} = 1 - \Sigma (\text{Vol. Cemento} + \text{agua} + \text{agregado grueso} + \text{aire})$	

Nota: *ACI 211 (2002)

Ecuación 4

Peso Agregado Fino

$$\begin{aligned}
 \text{Peso Agregado Fino} = \\
 \text{Vol. Agregado Fino} \times \\
 P. E. A. F. \dots\dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

Donde:

P. E. A. F: es el peso específico del agregado fino.

- IX. **Modificaciones finales y proporción de la combinación:** Se debe ajustar la proporción de los componentes en función de las pruebas de laboratorio o los datos de campo para satisfacer las especificaciones establecidas Kosmatka et al. (2004, p. 186).
- X. **Elaboración de combinaciones de prueba:** Se llevarán a cabo mezclas de prueba en el laboratorio para corroborar si la mezcla satisface los criterios de trabajabilidad y resistencia, realizando modificaciones si se requiere Kosmatka et al. (2004, p. 186).

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación general

- **¿Por qué razones se está realizando la investigación?**

La investigación sobre la incorporación de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) en la resistencia y absorción del concreto $f'c = 280$ kg/cm², se lleva a cabo para abordar diversos desafíos relacionados con la durabilidad y sostenibilidad del material. La principal motivación es mejorar la resistencia del concreto frente a fisuras y deterioro, especialmente en condiciones ambientales adversas como alta humedad y fluctuaciones térmicas. Al utilizar dióxido de silicio (nanosílice), se busca reducir la necesidad de reparaciones y mantenimiento frecuentes, lo que puede resultar en una disminución significativa de costos a largo plazo. Además, esta técnica biológica ofrece una alternativa más ecológica a los aditivos químicos tradicionales, promoviendo prácticas de construcción más sostenibles.

- **¿Para qué sirve resolver el problema de investigación?**
- Hay muchas ventajas involucradas para resolver el problema de la incorporación de nanosílice en el concreto. Para empezar, esto mejoraría su durabilidad, reduciendo la porosidad del concreto. De esta manera ayudaría a mejorar la resistencia al sulfato que ya se encuentra presente, previniendo por tanto el ataque y la consiguiente destrucción prematura. Esto prolongaría la vida útil de las estructuras y garantizaría que pudieran soportar un daño mínimo de las duras condiciones ambientales. Por otra parte, su duración más prolongada reduciría los costos a largo plazo al disminuir la frecuencia necesaria de reparaciones y mantenimiento. Por otro lado, también fomentaría la innovación en la ingeniería civil y permitiría nuevas tecnologías y métodos de realización de hazañas. Se lograría una mayor adhesión a los estándares y regulaciones con un rendimiento de seguridad más estricto.

- **¿Qué se va a lograr al responder a la pregunta?**

Al responder la pregunta sobre eficacia de las nanopartículas de nanosílice en la optimización del concreto, se logrará incrementar la durabilidad del material mediante la demostración de cómo las nanopartículas de dióxido de silicio pueden disminuir la porosidad, disminuyendo así la absorción de agua, lo que conducirá a una mejora en las propiedades mecánicas y una mayor resistencia a agentes ambientales agresivos. Además, será factible evaluar la relación costo-beneficio, teniendo en cuenta los posibles ahorros en mantenimiento y reparación en comparación con los costos asociados a la implementación del nanosílice. La investigación impulsará la innovación en las técnicas de construcción, respaldando la implementación de soluciones nanotecnológicas como opciones sostenibles y más eficaces que los aditivos convencionales. Adicionalmente, facilitará la adhesión a normativas y estándares más rigurosos, garantizando un concreto de mayor resistencia, durabilidad y fiabilidad.

- **¿A quiénes sirve esta solución? ¿Beneficiarios directos e indirectos de la investigación?**

Los beneficiarios directos de esta investigación será específicamente los pobladores de la provincia de Cajabamba departamento de Cajamarca. Los beneficiarios indirectos de esta investigación será específicamente la industria de la construcción, el medio ambiente y la población en general.

1.4.2. Justificación teórica.

Se fundamenta en la capacidad de la nanosílice para mejorar las propiedades

del concreto mediante la reducción de su porosidad, la optimización de su microestructura y la resistencia a los sulfatos. Este procedimiento incrementa la durabilidad del concreto a través de la incorporación de microfisuras, a la vez que disminuye su absorción a la humedad y a los agentes corrosivos. Además, la utilización de una solución nanotecnológica en vez de aditivos químicos tradicionales promueve una construcción más sostenible y eficiente. El propósito de este estudio no solo es fortalecer el concreto y prolongar su vida útil, sino también fomentar la innovación en las técnicas de construcción y contribuir a prácticas más sostenibles en el ámbito de la ingeniería civil.

1.4.3. Justificación práctica.

En la práctica, el concreto puede sufrir fisuras y deterioro prematuro debido a los sulfatos que presentan los suelos de la ciudad y condiciones ambientales adversas, como humedad y fluctuaciones de temperatura. Al incorporar la nanosílice, se mejoró la resistencia del concreto al sellar microfisuras y reducir su absorción, lo que minimiza el riesgo de daño y la necesidad de reparaciones frecuentes.

Implementar esta técnica ofrece beneficios concretos, como una mayor durabilidad del material y una reducción significativa en los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo. Además, utilizar una solución innovadora que optimizó la sostenibilidad del proyecto, alineándose con las tendencias actuales hacia prácticas de construcción ambientalmente responsables. Esta tecnología garantiza estructuras más resistentes y de mayor vida útil, proporcionando un valor tangible a la comunidad. En resumen, la investigación tiene una justificación práctica al ofrecer una solución efectiva para mejorar la calidad y sostenibilidad del concreto en aplicaciones reales en la provincia de Cajabamba.

1.4.4. Justificación metodológica

Se fundamenta en la exigencia de una evaluación detallada de la eficacia de esta técnica a través de métodos científicos y experimentales apropiados. Inicialmente, se empleó un diseño experimental controlado para contrastar el desempeño del concreto con y sin la incorporación de nanosílice. Este procedimiento implicó la elaboración de mezclas de concreto con cemento tipo I, con concentraciones de nanosílice de 1%, 1.5% y 2%, y la implementación de controles sin aditivo a base de cemento tipo V para establecer un patrón de comparación. Además, se llevaron a cabo experimentos de laboratorio para cuantificar características fundamentales del concreto, tales como la resistencia a la compresión, la succión capilar para cuantificar la absorción de líquidos y la evaluación de las resistencias a la compresión tras someter las muestras a un ataque de sulfatos de escala severa, con el objetivo de calcular el porcentaje de pérdida de dicha magnitud. Las evaluaciones de resistencia influyeron en el impacto de la nanosílice en la capacidad del concreto para resistir cargas y fuerzas. Las evaluaciones de durabilidad evaluaron la capacidad del concreto para resistir condiciones ambientales adversas, tales como la humedad, las variaciones térmicas y los ataques de sulfatos.

1.4.5. Justificación social

Esta investigación se centra en los beneficios que esta técnica puede aportar a la comunidad en términos de infraestructura duradera, económica y ambientalmente responsable. Al mejorar la durabilidad del concreto, se garantiza que las estructuras construidas, sean más resistentes a las condiciones adversas y requieran menos mantenimiento. Esto se traduce en una mayor estabilidad y seguridad de las construcciones de edificaciones, beneficiando a los usuarios y asegurando que las

infraestructuras cumplan con su función a lo largo del tiempo.

Además, la reducción de la necesidad de reparaciones y el uso de una solución más ecológica contribuyen a una gestión más eficiente de los recursos públicos y disminuyen el impacto ambiental asociado con la construcción. La implementación de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) representa un avance hacia prácticas de construcción más sostenibles, alineándose con las expectativas sociales actuales de responsabilidad ambiental y reducción de la huella ecológica.

1.4.6. Justificación económica

Integrar nanosílice en la construcción de concreto con cemento Tipo I, comparado al empleo de cemento Tipo V anti salitre, constituye una opción económicamente viable para la región de Cajabamba. El costo del cemento V se incrementa considerablemente debido a su formulación específica para resistir ataques de sulfatos. Al emplear cemento Tipo I en combinación con nanosílice, facilita la obtención de una resistencia y durabilidad superiores, comparables a un costo reducido. Este ahorro se manifiesta no solo en la etapa inicial de edificación, sino también en los costos de mantenimiento a largo plazo. El concreto con nanosílice otorga una permeabilidad menor, una resistencia incrementada a la compresión y una acción agresiva a los sulfatos, lo que disminuye la necesidad de reparaciones y prolonga la vida útil de las estructuras. Así, el uso de nanosílice favorece una administración más eficaz de los recursos financieros, optimizando la inversión en infraestructura y fomentando el desarrollo sostenible de la provincia de Cajabamba y todo el país.

1.5. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del análisis comparativo de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'_c = 280$ kg/cm² con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024?

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo general.

Comparar el efecto efecto de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'_c = 280$ kg/cm² con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024.

1.6.2 Objetivos específicos

- O.E.1: Evaluar el efecto de la resistencia a la compresión del concreto $F'_c = 280$ kg/cm² con adiciones de nanosílice en mezclas con cemento Tipo I y compararlas con el cemento Tipo V antisalitre sin nanosílice.
- O.E.2: Analizar la porosidad del concreto con cemento Tipo I modificado con nanosílice y compararlo con el cemento Tipo V antisalitre sin esta adición, para identificar la eficacia en la reducción de la penetración de agentes agresivos.
- O.E.3: Evaluar la resistencia a compresión de muestras de concreto elaboradas con cemento tipo I con adiciones de nanosílice, sometidas a un ataque severo de sulfatos con una concentración de 9999 ppm, y compararlas con la resistencia de muestras elaboradas con cemento tipo V, diseñado para resistir ataques severos de sulfatos.
- O.E.4: Evaluar el costo-beneficio de la incorporación de nanosílice en el concreto con cemento Tipo I como alternativa al cemento Tipo V antisalitre, analizando el costo y su impacto en la resistencia a la compresión, la durabilidad

y la reducción de costos, para determinar su viabilidad en aplicaciones constructivas.

1.7. Hipótesis

1.7.1 Hipótesis general

HG: La adición de nanosílice en el concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I puede mejorar significativamente su resistencia y durabilidad ante la exposición a sulfatos, alcanzando un desempeño comparable o similar al concreto con cemento Tipo V antisalitre sin esta adición en Cajabamba, Cajamarca.

1.7.2. Hipótesis específicas:

- H1: La incorporación de nanosílice incrementará la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento Tipo V antisalitre sin nanosílice.
- H2: La absorción del concreto con cemento Tipo I y nanosílice será significativamente menor, superando a la del concreto con cemento Tipo V antisalitre sin adición.
- H3: La incorporación de nanosílice influye significativamente en la de la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I en similar medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice.
- H4: La incorporación de nanosílice en el concreto con cemento Tipo I ofrece un mejor costo-beneficio en comparación con el uso de cemento Tipo V antisalitre, al mantener una durabilidad adecuada, mejorar la resistencia a la compresión y reducir los costos de producción.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Enfoque de investigación

La metodología de investigación se orientará primordialmente hacia un enfoque cuantitativo, utilizando experimentos de laboratorio rigurosos y análisis de datos precisos para evaluar la exactitud y la eficacia de la tecnología emergente. Para ello, se realizará una evaluación detallada del efecto del nanosílice en la mejora y optimización de las propiedades del concreto mediante experimentos de laboratorio y un análisis detallado de datos.

2.2. Tipo de investigación

La investigación a carácter aplicado, ya que se orienta a resolver un problema específico relacionado con la mejora de la durabilidad y resistencia del concreto mediante la incorporación de nanosílice. A través de esta investigación, no solo se busca generar nuevo conocimiento sobre el comportamiento del concreto tratado con adiciones de nanosílice, sino también poder desarrollar soluciones prácticas que generen un desarrollo a ser implementadas en el ámbito de la construcción, particularmente en la provincia de Cajabamba. La finalidad de esta investigación es aportar avances que, basados en teorías científicas y pruebas experimentales, puedan ser utilizados para mejorar la calidad de las infraestructuras locales.

2.2.1 Por el propósito

Este tipo de investigación es de carácter aplicativo se utiliza en la naturaleza donde se manipulan y observan variables que afectan resultados específicos que se puedan obtener de laboratorio. Las pruebas se realizaron con el objetivo de identificar y analizar las modificaciones en el diseño experimental, enfocándose en la adición de nanosílice para mejorar la resistencia y la permeabilidad y resistencia a sulfatos del concreto $f'c = 280$ kg/cm² en la provincia de Cajabamba.

2.2.2 Según el diseño de investigación

La investigación actual tiene un diseño cuasiexperimental, donde se manipulan variables y se observa que afectan un resultado particular. Se realizaron pruebas para identificar y analizar cambios en el diseño experimental, enfocándose en la inclusión de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) para mejorar las propiedades del concreto $f_c = 280$ kg/cm².

2.2.3 Según el nivel de investigación

Esta investigación se basa en un enfoque interpretativo, ya que se centra en el estudio de efectos sobre variables independientes a través de estudios experimentales apoyados en pruebas rigurosas. Esta elección metodológica se justifica por la necesidad de comprender y explicar en detalle las relaciones causales entre las variables involucradas en el estudio.

2.3 Diseño de investigación:

El presente estudio se llevó a cabo utilizando un enfoque cuasiexperimental donde se ajustó el contenido de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) para aumentar la resistencia del concreto $f_c = 280$ kg/cm². El objetivo es investigar su efecto sobre la variable dependiente. Se eligió un enfoque cuasiexperimental debido a la necesidad de evaluar el efecto de estos suplementos sobre la variable dependiente de manera controlada y, por lo tanto, se planeó que este estudio siguiera este enfoque.

2.4 Variables

Clasificación de la muestra y observación

Figura 1

Clasificación de la muestra y observación.



Nota: *En esta figura se muestra la secuencia en el diseño de investigación

Tabla 10

Variables de Estudio

GRUPO	ASIGNACIÓN	Pre prueba	Tratamiento	Post prueba
nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) para mejorar la resistencia del concreto $f'_c = 280$ kg/cm ² .		Concreto $f'_c = 280$ kg/cm ² .	Dosificaciones X	Adición de nanosílice al diseño de mezcla a base de cemento Tipo I Diseño de mezcla a base de cemento Tipo V antisalitre

Nota. La tabla asigna grupos, mostrando pre prueba, tratamiento y post prueba para evaluar el uso de nanosílice en la mejora de la resistencia del concreto.

- **Variable Independiente:**

- **Método de incorporación de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice):**

La integración de nanosílice en la mezcla de concreto hace referencia a la cantidad concreta de aditivo que se añade a la mezcla, usualmente expresada en porcentajes en relación con el cemento en el diseño de la mezcla. Como variable independiente, es factible ajustarla y controlarla durante el proceso de preparación del concreto, lo cual nos permitiría determinar su impacto en las propiedades finales del concreto. Por lo tanto, varias concentraciones de nanosílice se utilizarán con diferentes niveles como bajo, medio y alto para investigar la relación entre nanopartículas de dióxido de silicio en cuanto a nanosílice y su influencia sobre la resistencia y la durabilidad del concreto.

- **Variable Dependiente:**

- **Resistencia a la compresión del concreto.**

La resistencia a la compresión del concreto es la medida en que el concreto puede resistir la carga que disminuye el tamaño de la sustancia y se lleva al punto de colapsar la estructura. La resistencia se da como la tensión más alta en la que el concreto puede sostenerse sin colapsarse cuando se expone a una carga axial de compresión. A menudo, la resistencia a la compresión se da como una unidad de fuerza por unidad de área, como kilogramos por centímetro cuadrado o megapascuales. En la práctica, la resistencia se mide experimentando con muestras cilíndricas o cúbicas de concreto a medida que se aplica una carga gradual a la muestra, disminuyendo al máximo en que la muestra falla. La resistencia a la compresión es fundamental para determinar la capacidad y la calidad del concreto. Además, es una cantidad fundamental cuando se trata de la

formulación y prueba de capacidades de diseño estructural de concreto.

Kosmatka et al., (2004).

- **Absorción del concreto.**

La absorción del concreto es una propiedad que indica la capacidad del material para retener líquidos, como el agua, en sus poros cuando está expuesto a estos sin presión externa. Esta propiedad está influenciada por la porosidad, el tamaño y la distribución de los poros, así como por la calidad de los materiales y el proceso de curado. La absorción es un factor crucial en la durabilidad del concreto, ya que una mayor capacidad de absorción puede aumentar la capacidad del concreto a daños causados por ciclos de congelación y descongelación, así como a la penetración de agentes químicos agresivos. Se mide generalmente en términos de porcentaje o en unidades como mm/s^{1/2}, que reflejan la tasa de absorción capilar en la superficie del concreto. Kosmatka et al., (2004)

- **Resistencia a sulfatos**

La capacidad del concreto para resistir daños químicos indica su capacidad para resistir condiciones severas de dichos agentes químicos en el suelo o aguas subterráneas con elevados niveles de sulfatos. Este fenómeno puede inducir la inflamación y la desintegración del concreto, comprometiendo su integridad estructural.

2.4.2 Clasificación de variables (matriz de clasificación de variables).

Tabla 11

Matriz de Clasificación de Variables

VARIABLE	CLASIFICACIÓN				
	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Método de incorporación de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice)	Dependiente	Ordinal	Razón	multidimensional	indirecta
Resistencia a la compresión del concreto	Independiente	Continua	Razón Razón	adimensional	directa
Absorción del concreto	Independiente	Continua	Razón	adimensional	directa
Resistencia a sulfatos	Independiente	Continua	Razón	adimensional	directa

Nota. La tabla presenta la clasificación de las variables del estudio, indicando su relación, naturaleza, escala de medición, dimensión y forma de medición. Estas variables incluyen tanto dependientes como independientes, con diversas escalas de medición y métodos de evaluación que permiten un análisis detallado de las características del concreto.

2.4.3 Operacionalización de variables /Matriz de operacionalización de variables.

Tabla 12

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Instrumentos	Escala de medición
Método de incorporación de nanosílice	Se refiere al procedimiento específico mediante el cual se añade nanosílice a la mezcla de concreto. Esto puede incluir técnicas como la adición directa de una solución bacteriana, la mezcla con un agente portador o la inclusión en polvo en los ingredientes secos.	El objetivo es garantizar una distribución uniforme del aditivo (nanosílice) en la mezcla para evaluar su impacto en las propiedades del concreto. La definición operacional incluirá la técnica utilizada, las cantidades exactas y el momento de adición en el proceso de mezcla.	Tipo de método Cantidad de aditivo Momento de Adición	Uniformidad de Distribución Eficiencia de Incorporación Homogeneidad de la Mezcla	1,2,3,4,5,6	Mezclador de Concreto Balanza de Precisión Probetas	Razón
Resistencia a la compresión del concreto	La resistencia a la compresión del concreto se define como la capacidad del concreto para soportar fuerzas de compresión sin fallar, medida como la carga máxima soportada por una muestra de concreto de dimensiones estándar	Esta resistencia se evalúa mediante ensayos de compresión en cilindros o cubos de concreto curados, aplicando una carga axial hasta que el concreto se quiebre y midiendo la carga máxima alcanzada	Unidades de medida Tamaño de la Muestra Edad del concreto	Carga Máxima Aplicada Resistencia a la compresión Módulo de Rotura	1,2,3,4,5,6	Prensa de compresión Calibrador de carga Probetas Equipo de curado	Razón

	hasta el punto de ruptura.							
Resistencia sulfatos	La resistencia a sulfatos es la capacidad del concreto para conservar sus propiedades mecánicas y durabilidad al ser expuesto a ambientes con sulfatos que pueden causar deterioro.	La resistencia a sulfatos se medirá a través de la pérdida de resistencia a compresión de las muestras tras su inmersión en una solución de sulfatos de 9999 ppm, comparando los resultados con muestras de control.	Unidades de medida Tamaño de la muestra Condiciones de Ensayo	Reducción de resistencia a la compresión (%)	1,2,3,4,5,6	Prensa hidráulica para ensayos de compresión Balanza de precisión Cámaras de exposición a sulfatos (soluciones de sulfato controladas) Regla Vernier o calibrador para medir expansión	Razón	
Absorción del concreto	Capacidad del concreto para absorber agua en sus poros y medir la velocidad de absorción con el tiempo.	Se medirá la cantidad de agua absorbida por las muestras de concreto a lo largo de un tiempo determinado, expresada en términos de $(\text{mm}/\text{s}^{1/2})$	Velocidad de absorción Porosidad Capacidad de absorción	Coefficiente de absorción Incremento de masa	1,2,3	Balanza de precisión, Recipiente de inmersión, Cronómetro	Razón	

Nota: En esta tabla se especifican las variables, dimensiones e indicadores que permiten operacionalizar el estudio, definiendo los métodos de medición y técnicas para la recolección de datos.

2.5. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.5.1 Población

Para el estudio se centra en todas las muestras de concreto utilizadas en las construcciones diseñadas en el distrito Cajabamba, provincia Cajabamba, del departamento de Cajamarca durante el año 2024.

2.5.2 Muestra.

La muestra seleccionada para la investigación de la integración de nanosílice en el concreto se compone de un conjunto de probetas de concreto preparadas específicamente para su evaluación en la provincia de Cajabamba, perteneciente al departamento de Cajamarca. Estas muestras comprenden tanto el concreto experimental, al que se han incorporado nanopartículas de silicio con el objetivo de evaluar su impacto en la mejora de las propiedades del concreto.

2.5.2.2 Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra está determinado por un total de 172 probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, como se especifica en la **Tabla 13**. Para realizar las pruebas de resistencia a la compresión y tracción, se prepararán al menos 9 probetas por cada tipo de mezcla (con nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) y sin el aditivo). Estas probetas, con dimensiones estándar de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura, permitirán obtener resultados estadísticamente significativos y evaluar la eficacia de la adición de nanosílice.

Tabla 13
Detalle del Tamaño de Muestra

DETALLE DEL TAMAÑO DE MUESTRA			
Tipo de ensayo	Probetas por tiempo	Tiempo de probetas	Total, de probetas
Compresión	3	7, 14 y 28 días	36
Absorción	4	28 días	16
Resistencia a sulfatos con concentración de 9999 ppm (severo) de sulfato de magnesio	3	14, 28 y 42 días	72
TOTAL			124 probetas

Nota: *En la siguiente tabla se muestra el tamaño de muestra del estudio

2.5.3 Materiales

- Cemento Portland Tipo I
- Cemento Portland Tipo V
- Agregado Fino
- Agregado Grueso
- Agua
- Nanosílice
- Sulfato de magnesio (MgSO₄)
- Aditivo Superplastificante

- Mezcladora de Concreto
- Probetas
- Cajas o Poza de curado
- Equipo de resistencia a la compresión
- Equipo de resistencia a la tracción
- Medidor de permeabilidad
- Equipo de pruebas de adherencia
- Cinta métrica
- Termómetro e Higrómetro
- Balanza de precisión
- Desmoldantes
- Envases estériles
- Hojas de registro y formularios
- Equipo protección de personal

2.6.1 Técnica de recolección de datos.

En el estudio posterior se adoptó la observación como método de recolección de datos con el fin de obtener los resultados obtenidos de los experimentos de manera efectiva y adecuada. Esto ayudará a lograr resultados óptimos que ayudarán a formular conclusiones realistas y precisas.

2.6.2. Instrumento de recolección de datos

Este estudio cuasiexperimental aplica una metodología observacional, en la que se emplea una guía de observación, detallada y validada en el **Anexo 2**. Esta, fue usada como instrumento principal para la toma de datos de manera sistemática, de los resultados obtenidos de la manipulación de variables a lo largo del estudio. La guía de

observación está diseñada específicamente para recopilar los datos de las pruebas realizadas con instrumentos como la máquina de ensayo de compresión, el equipo para pruebas de tracción, y los ensayos relacionados con la resistencia a sulfatos. Estas evaluaciones comprenden la resistencia a la compresión en muestras sometidas a sulfatos, la porosidad abierta y la pérdida de masa, conforme a normas y estándares consolidados, tales como los de ASTM o ACI, que aseguran la exactitud de las mediciones. Adicionalmente, la guía incorpora una casilla para corroborar la calibración adecuada de los equipos empleados, garantizando así la validez y precisión de los datos registrados. En este contexto, se asegura que los equipos satisfacen los estándares en la norma ISO/IEC 17025, que regula la calibración de las máquinas de prueba de compresión en laboratorios de concreto, lo que fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.6.3. Validación del instrumento de recolección datos.

La validez y confiabilidad de la guía de observación se detalla en el **Anexo 3**. Con lo que se logró, a través de un proceso de validación con tres especialistas altamente calificados. En primer lugar, el Ingeniero Ricard Alexis Miranda Rucoba posee una Magisteria en Ingeniería Civil y cuenta con más de 5 años de experiencia en diseño y gestión de proyectos de infraestructura; ha trabajado en diversos proyectos de construcción de gran escala, lo que le otorga una excelente perspectiva sobre la guía de observación. El experto dos, el Ingeniero Víctor Miguel Tullume Uceda cuenta con una Maestría en Ingeniería Civil con más de 10 años de experiencia como residente de obra de edificaciones e inmobiliarias; su amplia experiencia en la supervisión de proyectos y su habilidad para resolver problemas complejos en el sector construcción le permiten una evaluación rigurosa sobre la utilidad de la herramienta en el ámbito de la ingeniería.

El doctor Félix Germán Delgado Ramírez poseedor de Doctorado con más de 10 años de experiencia en la industria, actualmente se desempeña como Gerente en Top World Eng. S.A.C. liderando proyectos de ingeniería innovadores; su rigurosa formación académica y dedicación a la investigación aplicada le brindan un enfoque crítico y fundamentado para determinar la idoneidad de la guía de observación. Estos especialistas, con amplios conocimientos académicos y extensa experiencia laboral en la industria de la construcción e ingeniería, evaluaron detalladamente cada ítem de la guía de observación. Sus observaciones y sugerencias contribuyeron a la mejora de la calidad del instrumento y garantizar que fuera adecuado para medir la variable en estudio para la implementación de tecnologías avanzadas en la construcción en la provincia de Cajabamba.

2.6.4. Análisis de datos:

2.6.4.1 Técnicas de análisis de datos

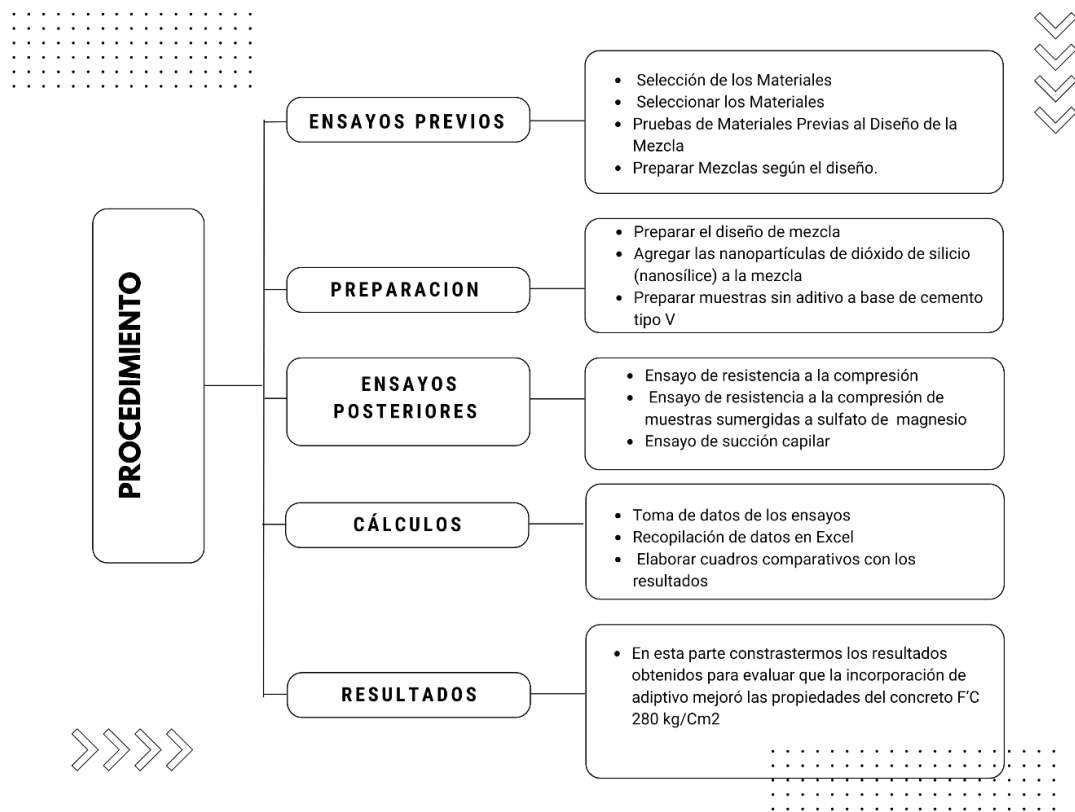
La técnica de análisis de datos se basa en métodos estadísticos para interpretar y validar los resultados obtenidos. Primero, se recopilan los datos de las pruebas de resistencia a la compresión, adherencia, y otras propiedades del concreto, tanto para las mezclas experimentales con nanosílice, como para los controles sin la aditivo. Estos datos se organizan y se presentan en tablas y gráficos para facilitar su análisis. Se utilizan técnicas estadísticas descriptivas, como medias, medianas y desviaciones estándar, para resumir las características de las muestras. Posteriormente, se aplican pruebas estadísticas inferenciales, como la prueba t de Student o análisis de varianza (ANOVA), para determinar si existen diferencias significativas en la resistencia del concreto entre las mezclas experimentales y de control. Este análisis permite evaluar el efecto que pueda generar la incorporación de nanosílice en la mejora de las

propiedades del concreto. Los resultados se interpretan en función de su relevancia práctica y científica, y se realizan comparaciones con estudios previos para validar los hallazgos. Para así de esta manera poder obtener un enfoque sistemático que nos pueda asegurar conclusiones sólidas y basadas en evidencias precisas y fundamentadas.

2.7 Procedimientos

Figura 2

Planificación del Procedimiento



Nota. Obtenido de Daza et. al. (2021).

2.7.1. Procedimiento Detallado

1. Preparación de las mezclas de concreto

- **Materiales:**

- **Cemento:** Se utilizarán dos tipos de cemento: Portland Tipo I, conocido por su versatilidad y uso común en aplicaciones generales, y Tipo V, recomendado para ambientes agresivos por su alta resistencia a los sulfatos (ASTM C150/C150M-20, ASTM International, 2020).
- **Nanosílice:** El aditivo se ha adquirido de la Empresa Ulmen S.A. distribuidor especializado en este tipo de aditivos. Para ello se incorporará en tres porcentajes de adición (1%, 1.5% y 2% con relación al peso del cemento) para evaluar su efecto en las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto. La nanosílice se usa debido a su alta reactividad y capacidad para mejorar la microestructura del concreto.
- **Agregados:** Los agregados grueso y fino se han obtenido de la cantera: “Doña Ramona”, ubicada en el distrito de Condebamba, provincia de Cajabamba. Los que deberán cumplir con las especificaciones de granulometría y limpieza según la norma ASTM C33/C33M-18 (ASTM International, 2018), garantizando así la calidad y consistencia del concreto.
- **Agua:** Se utilizó agua potable para la mezcla, sin impurezas que pudieran afectar el fraguado o las propiedades finales del concreto, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C1602/C1602M-18 (ASTM International, 2018). mezcla potable, sin impurezas que puedan afectar el fraguado o las propiedades finales del concreto, según los lineamientos de la norma *ASTM C1602/C1602M-18* (ASTM International, 2018).

- **Aditivo superplastificante:** Se añadió un aditivo superplastificante, específicamente el SikaCem® Plastificante, que cumplió con la norma ASTM C494/C494M-19 (ASTM International, 2019), en una proporción del 1% sobre el peso del cemento para mejorar la trabajabilidad de la mezcla sin aumentar el contenido de agua. Este aditivo permitió alcanzar una consistencia fluida y uniforme, facilitando la colocación y el acabado del concreto.

- **Procedimiento:**

- I. Diseño de Mezcla:**

El diseño de la mezcla se basó en el método del módulo de fineza para la combinación de agregados, siguiendo las recomendaciones de la literatura y las normas ASTM y ACI. Este método permitió ajustar la proporción de agregado fino y grueso de acuerdo con la relación agua/cemento y el contenido total de agua, reflejando la influencia de estos factores en la trabajabilidad y resistencia del concreto. Se consideraron los principios de economía, trabajabilidad y durabilidad para asegurar un concreto que cumpliera con los requisitos estructurales y económicos de la obra.

- II. Ensayos Físicos Previos:**

Se llevaron a cabo ensayos físicos de los agregados para garantizar su calidad y cumplimiento de las normas:

- **Análisis granulométrico:** Se realizó el ensayo de granulometría a los agregados de acuerdo con la norma ASTM C136/C136M para obtener la distribución de tamaños de partículas y asegurar una gradación adecuada que optimizara la trabajabilidad del concreto.

- **Peso unitario compactado y peso específico:** Se determinaron los pesos unitarios y específicos de los agregados, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes para garantizar la correcta dosificación.
- **Contenido de humedad y absorción:** Se evaluó el contenido de humedad y la absorción de los agregados finos y gruesos para ajustar la cantidad de agua de la mezcla y asegurar una proporción precisa en el diseño.

III. Estudio de Especificaciones Técnicas:

Se revisaron los planos y especificaciones de la obra para identificar los requisitos de resistencia, asentamiento y durabilidad. Esto permitió establecer la resistencia promedio requerida (" f'_{cr} ") y seleccionar un asentamiento adecuado, basándose en tablas de consistencia, como las presentadas por ACI.

IV. Elección del Asentamiento (Slump):

- Se determinó la consistencia de la mezcla mediante el ensayo de asentamiento (SLUMP), realizado de acuerdo con la norma NTP 339.035. Este ensayo permitió verificar la trabajabilidad del concreto fresco y asegurar que la mezcla fuera adecuada para su colocación y compactación. El procedimiento incluyó:
 - Uso del cono de Abrams y varilla de apisonado.
 - Compactación de la mezcla en tres capas, cada una con 25 golpes uniformemente distribuidos.
 - Medición de la diferencia de altura entre el molde y el concreto, para registrar el asentamiento final.

V. Selección de Tamaño Máximo del Agregado:

El tamaño máximo del agregado se estableció mediante los resultados del análisis granulométrico, asegurando que cumpliera con las recomendaciones de la norma ASTM C33. Este paso fue esencial para lograr una mezcla bien graduada y reducir la segregación.

VI. Estimación del Agua de Mezclado y Contenido de Aire:

Se utilizó la tabla de volumen unitario del agua recomendada por el Comité 211 del ACI para estimar el contenido de agua de la mezcla, dependiendo del tamaño del agregado y el asentamiento deseado. También se consideró el contenido de aire, especialmente para concretos expuestos a condiciones severas.

VII. Selección de la Relación Agua/Cemento (a/c):

La relación agua/cemento se eligió basándose en los requisitos de resistencia y durabilidad, tomando el valor más bajo que garantizara ambos aspectos. Esto aseguró que el concreto cumpliera con las especificaciones del proyecto sin comprometer su durabilidad.

VIII. Cálculo del Contenido de Cemento:

El contenido de cemento se calculó dividiendo la cantidad de agua por la relación agua/cemento. Este cálculo se ajustó según las especificaciones de la obra, que podían requerir un contenido mínimo de cemento para garantizar acabados de calidad y trabajabilidad.

IX. Medición del Asentamiento (SLUMP):

El procedimiento del ensayo de asentamiento incluyó la colocación de la mezcla en el cono de Abrams en tres capas, compactando cada una con 25 golpes de varilla. La altura final se midió tras retirar cuidadosamente el molde, obteniendo

así el valor de asentamiento. Con este enfoque integral, se logró asegurar que la mezcla de concreto fuera diseñada y evaluada de acuerdo con las normativas ASTM y ACI, garantizando un producto de alta calidad y durabilidad.

X. Fabricación de probetas

- Se prepararon moldes cilíndricos de dimensiones estándar (100 x 200 mm) para los ensayos de compresión y tracción, asegurando que los moldes fueran de material no reactivo y estuvieran limpios y secos antes de su uso.
- El concreto se vertió en los moldes en tres capas de igual espesor. Se compactó cada capa con 25 golpes de varilla, distribuidos uniformemente, para expulsar las burbujas de aire atrapadas y evitar la formación de vacíos que pudieran afectar los resultados de resistencia. Este proceso de compactación fue especialmente importante debido al uso de aditivos superplastificantes, ya que la fluidez adicional facilitó la formación de burbujas que debieron ser eliminadas adecuadamente.
- La superficie superior de las probetas se alisó con una paleta, garantizando una superficie uniforme para la aplicación de cargas en los ensayos de compresión y tracción.
- Se fabricaron probetas adicionales para los ensayos de resistencia a sulfatos siguiendo el mismo procedimiento de fabricación. La consistencia y homogeneidad en la fabricación fueron esenciales para obtener resultados comparables y precisos en el análisis de la resistencia a sulfatos.

- Todas las probetas se etiquetaron de manera clara y sistemática para identificar la mezcla utilizada y el tiempo de exposición, lo cual fue crucial para el seguimiento y análisis de los resultados.

XI. Curado de Probetas:

- Se colocaron las probetas en cámaras húmedas o tanques de agua a una temperatura controlada de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 días. Este proceso de curado estándar fue fundamental para el desarrollo óptimo de las propiedades mecánicas del concreto, asegurando una hidratación completa del cemento. El curado adecuado fue especialmente importante en mezclas con aditivos superplastificantes, ya que el contenido de agua era menor y cualquier pérdida de humedad habría afectado negativamente la resistencia final.
- Durante el curado, se monitoreó la temperatura y la humedad para evitar variaciones que pudieran haber afectado la calidad del concreto. Cualquier desviación podría haber alterado la microestructura del material, comprometiendo su durabilidad y resistencia.

XII. Expansión a sulfatos

- Se preparó una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 9999 ppm (severo) para simular condiciones de exposición a sulfatos. La precisión en la concentración de la solución fue clave, ya que variaciones habrían influido en la severidad del ataque al concreto y, por tanto, en los resultados de los ensayos.

- Las probetas curadas se sumergieron durante 14 días en la solución de sulfatos. Se evaluaron las probetas a los 7, 14 y 28 días para monitorear la resistencia a sulfatos en diferentes etapas de exposición. La solución se mantuvo a una temperatura constante de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y se renovó periódicamente para garantizar condiciones homogéneas de exposición. Esta exposición prolongada en ambientes agresivos permitió evaluar la durabilidad a largo plazo del concreto modificado con nanosílice y aditivo superplastificante.

XIII. Ensayo de resistencia a compresión

- Las probetas cilíndricas de 100 x 200 mm se colocaron en la máquina de compresión, asegurando que estuvieran alineadas correctamente para evitar la aplicación de cargas excéntricas que pudieran haber afectado los resultados. La alineación adecuada fue fundamental para evitar esfuerzos no deseados que causaran fallas prematuras.
- Se aplicó la carga axial a una velocidad constante de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta que ocurrió la ruptura. Este control de velocidad fue esencial para obtener resultados reproducibles y precisos, minimizando la influencia de factores externos en la resistencia medida.
- Se registró la carga máxima alcanzada en el momento de la ruptura para calcular la resistencia a compresión. Este valor se comparó con las especificaciones de diseño y con las probetas expuestas a sulfatos para evaluar el efecto del ataque químico en la resistencia. Los ensayos se realizaron a los 7, 14 y 28 días para observar la evolución de la

resistencia a compresión en diferentes etapas del fraguado y endurecimiento.

XIV. Ensayo de Succión Capilar para determinar la Absorción

- i. **Preparación de la Muestra:** Las muestras de concreto se preparará y curan según las especificaciones estándar para asegurar que representen adecuadamente el material en estudio. Es importante que las muestras estén secas al comenzar el ensayo para garantizar la precisión en los resultados.
- ii. **Secado de la Muestra:** Las muestras se colocan en un horno a una temperatura constante de 100-110°C hasta alcanzar un peso constante, lo cual suele requerir al menos 24 horas. Luego, se retiran del horno y se enfrían a temperatura ambiente en un desecador para evitar la absorción de humedad del aire. Se registran las masas secas de las muestras (peso seco).
- iii. **Inmersión en Agua:** Las muestras secas se sumergen completamente en agua a temperatura ambiente durante un período de tiempo específico (generalmente 48 horas). Se asegura que el agua cubra por completo las muestras para permitir una absorción homogénea en toda la superficie.
- iv. **Determinación del Peso Saturado:** Después del tiempo de inmersión, las muestras se retiran del agua, se secan rápidamente con un paño húmedo para eliminar el exceso de agua superficial y se pesan. Esta es la masa de las muestras en estado saturado.
- v. **Mediciones en Días Específicos:**

- Retira la muestra del agua en los días 7, 14 y 28.
- Seca la superficie de la muestra rápidamente con un paño húmedo para eliminar el exceso de agua y pesa la muestra para obtener el peso saturado

vi. **Utiliza Cálculo absorción capilar:**

la siguiente fórmula en cada día de medición para calcular el coeficiente de absorción capilar en (mm/s^{1/2}) mediante la formula:

$$s = \frac{\Delta W}{A\sqrt{t}}$$

XV. Ensayo de resistencia a sulfatos

- Se llevó a cabo la prueba de resistencia a compresión para verificar el porcentaje de disminución en la resistencia del concreto expuesto a sulfatos en comparación con una muestra de control no inmersa en la solución de sulfatos. Previamente, las probetas fueron curadas en agua normal, sin sulfatos, durante un período de 14 días para garantizar una hidratación uniforme y el desarrollo de las propiedades mecánicas iniciales del material.
- Después del curado, las probetas se sumergieron en una solución de sulfato de magnesio con una concentración de 9999 ppm para simular un entorno severo de exposición a sulfatos. La resistencia a compresión de las probetas sumergidas se midió en los días 7, 14 y 28, y estos resultados se compararon con los obtenidos de las probetas que no fueron expuestas a la solución de sulfatos.
- El análisis comparativo permitió evaluar la reducción en la resistencia a compresión debido al ataque de sulfatos y determinó la eficacia de las adiciones de nanosílice en la mejora de la durabilidad del concreto bajo estas condiciones agresivas. Esta prueba fue clave para verificar cómo el concreto modificado

respondía al entorno de sulfatos y cuánto disminuía su resistencia en comparación con las muestras de control.

2.8. Aspectos éticos

La investigación se realizó estrictamente de acuerdo con los lineamientos éticos establecidos por la UPN. En esta investigación se pone especial énfasis en el respeto a la integridad humana, la autonomía, la equidad en el tratamiento adecuado de los participantes y sus datos, y la libertad de actuar de acuerdo a sus intereses, de manera beneficiosa y sin malicia en relación con el propósito de la investigación. Además, se presta especial atención a la competencia profesional, la responsabilidad, la transparencia, la prudencia y, finalmente, el respeto a la propiedad intelectual. En este sentido, se cita consistentemente a los responsables de las fuentes de información utilizadas a lo largo del proyecto de investigación.

Del mismo modo, se destaca la importancia de las cuestiones de autoría, citación y referencia y supervisión del formato de los Estándares APA Séptima Edición. El grado de originalidad también se evalúa mediante el software TURNITIN para comprobar el grado de similitud o plagio de los documentos. Se mantiene un fuerte compromiso de respetar los derechos de autor de los responsables y de quienes intervienen en el proceso de recogida de datos. La honestidad es el principio rector, evitando cualquier forma de manipulación o alteración de los datos utilizados en la encuesta, incluida la fabricación y falsificación de datos.

III. RESULTADOS

3.1. Introducción de los Resultados

3.1.1. Resumen General de los Resultados

En esta sección se presentan los principales hallazgos de la investigación, enfocados en la evaluación de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto modificado con nanosílice. Los resultados obtenidos se organizan en subsecciones correspondientes a las pruebas de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción indirecta, permeabilidad y resistencia a sulfatos, proporcionando un análisis integral de la influencia de la nanosílice en las características del concreto. Además, se observó que la adición de nanosílice en diferentes contenidos (1%, 1.5% y 2% del peso del cemento) aumentó en gran medida la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto, especialmente en los medios agresivos. Una investigación más profunda reveló que existe una clara correlación entre el contenido de nanosílice y la resistencia del hormigón contra el ataque de sulfatos; más precisamente, se observó la idoneidad de la optimización en términos de desempeño estructural. Cada una de estas secciones proporciona información adicional sobre el análisis descriptivo, las comparaciones con el grupo de control y los resultados de las pruebas estadísticas, todo ello destinado a contribuir a dibujar una imagen general integral de cómo esos aditivos influyen en el comportamiento concreto.

3.1.2. Enfoque Metodológico

El diseño de la investigación fue cuasiexperimental y se estructuró de manera que evaluó el impacto de la nanosílice en las propiedades del concreto en comparación

de varias dosis del aditivo con una mezcla de control. En concreto, cada tipo de prueba se realizó siguiendo los estándares y protocolos establecidos para ellas. Pruebas que incluyen pruebas paramétricas y no paramétricas que serían apropiadas para probar hipótesis, dependiendo de la naturaleza de los datos recopilados. Se utilizó la prueba t para muestras independientes para comparar las resistencias a la compresión de las muestras. Se aplicó la prueba de Mann-Whitney cuando los datos no respalden la normalidad. El alcance de la investigación se amplió para incluir el análisis de correlación entre las dosis de nanosílice y las propiedades mecánicas del concreto, y el análisis de regresión utilizado para modelar y predecir el comportamiento del material en diferentes condiciones de la campaña experimental. Por tanto, este método permitirá un análisis muy preciso y detallado. Los hallazgos podrían ser bastante confiables y aplicables en la industria de la construcción.

3.3. Resultados de la Resistencia a la compresión

3.3.1. Resistencia la compresión del concreto patrón

Tabla 14

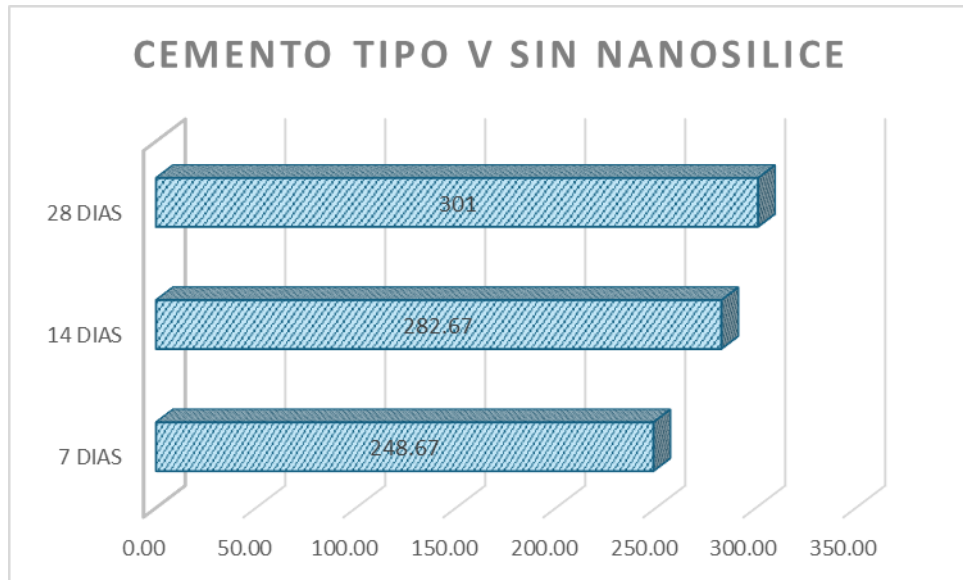
Resistencia la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo V

CEMENTO TIPO V SIN NANOSILICE			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
RESISTENCIAS	252	278	298
F'C	258	286	301
OBTENIDAS	236	284	304
PROMEDIO	248.67	282.67	301

Nota. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de las roturas a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón a base de cemento tipo V sin nanosílice.

Figura 3

Resistencias Promedio Muestra Patrón



Nota. En la siguiente gráfica se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de la muestra patrón a base de cemento tipo V sin adición de nanosilice según la Norma ASTM C39.

3.3.2. Resistencia la compresión del concreto con cemento tipo I y 1% de nanosilice.

Tabla 15

Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 1% de Nanosilice

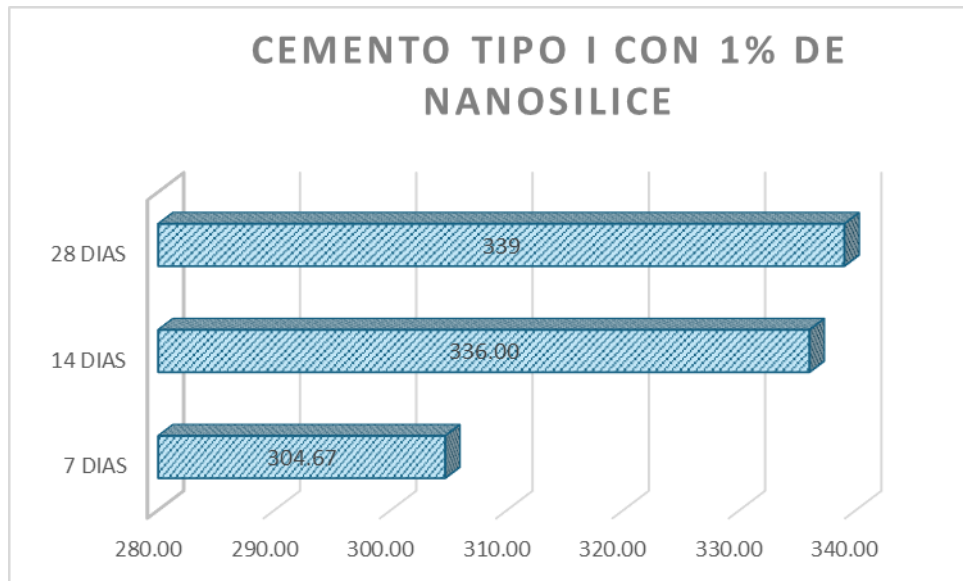
CEMENTO TIPO I CON 1% NANOSILICE			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
RESISTENCIAS			
F'C	301	335	335
	305	333	342
	308	340	340
PROMEDIO	304.67	336	339

Nota. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de

Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de las roturas a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón a base de cemento tipo I con 1% de nanosilice.

Figura 4

Resistencias Promedio Muestra con 1% de Nanosilice



Nota. En la siguiente gráfica se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de la muestra patrón a base de cemento tipo I con adición de 1% de nanosilice según la Norma ASTM C39.

3.3.3. Resistencia la compresión del concreto con cemento tipo I y 1.5% de nanosilice.

Tabla 16

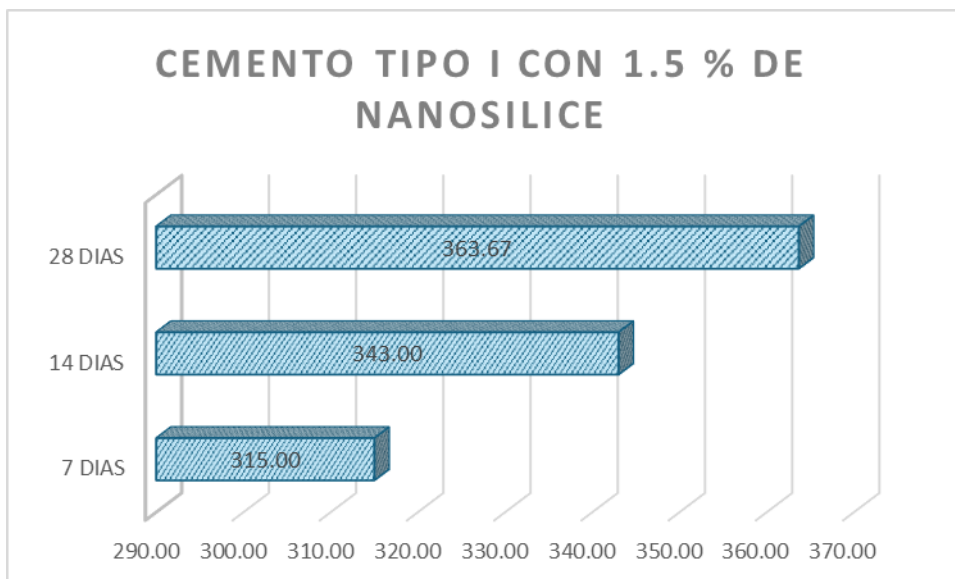
Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 1.5% de Nanosilice

CEMENTO TIPO I CON 1.5% NANOSILICE			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
RESISTENCIAS	312	346	364
F' C	315	339	365
PROMEDIO	318	344	362
	315.00	343	363.67

Nota. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de las roturas a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón a base de cemento tipo I con 1.5% de nanosilice.

Figura 5

Resistencias Promedio de Muestra con 1.5% de Nanosilice



Nota. En la siguiente gráfica se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de la muestra patrón a base de cemento tipo I con adición de 1.5% de nanosilice según la Norma ASTM C39.

3.3.4. Resistencia la compresión del concreto con cemento tipo I y 2% de nanosilice.

Tabla 17

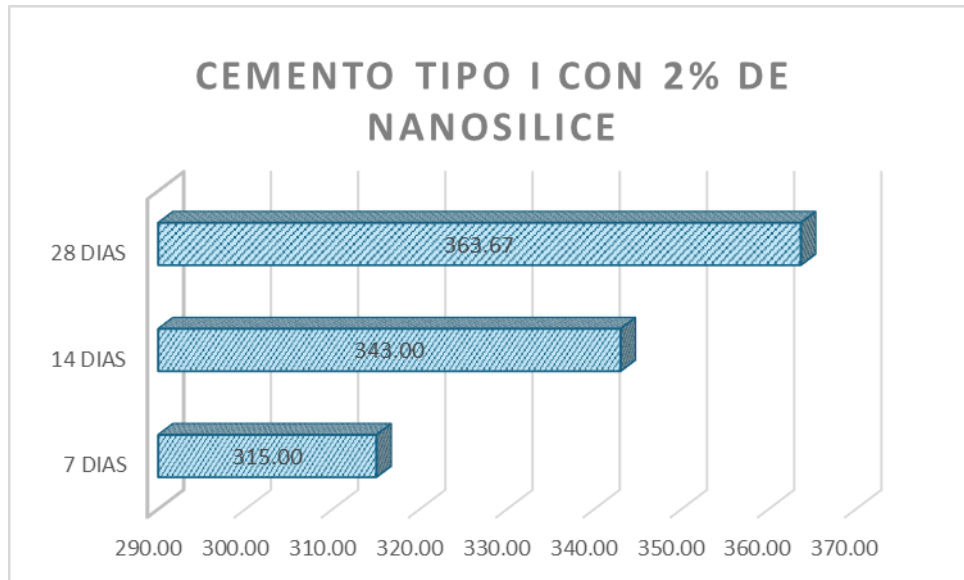
Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón a Base de Cemento Tipo I con 2% de Nanosilice

CEMENTO TIPO I CON 2% NANOSILICE			
	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
RESISTENCIAS			
F'C	319	349	368
	321	348	366
	318	352	363
PROMEDIO	319.33	349.67	365.67

Nota. En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de las roturas a los 7, 14 y 28 días de la muestra patrón a base de cemento tipo I con 2% de nanosilice.

Figura 6

Resistencias Promedio de Muestra con 2% de Nanosilice

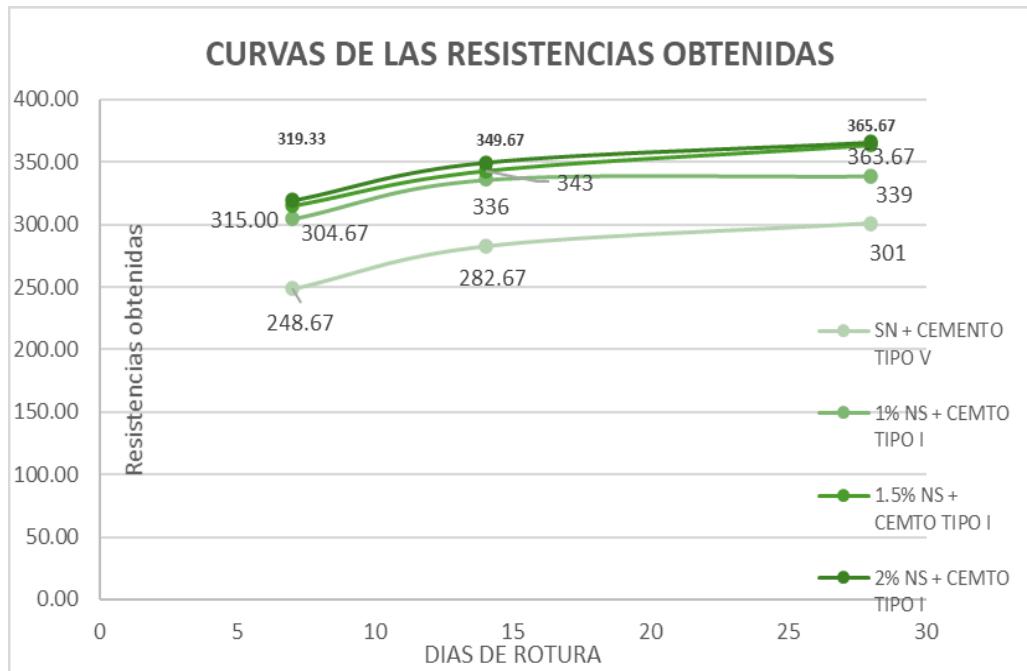


Nota. En la siguiente gráfica se muestran los datos obtenidos en laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto de la muestra patrón a base de cemento tipo I con adición de 2% de nanosilice según la Norma ASTM C39.

3.3.4. Curvas de resistencia a compresión de las diferentes muestras

Figura 7

Curva de Resistencias Obtenidas



Nota. En la siguiente gráfica se muestran las curvas de las resistencias, obtenidas de los datos de laboratorio del ensayo de Resistencia a la Compresión Promedio del Concreto, donde se puede notar claramente que las muestras con adiciones de nanosilíce superan a la muestra a base de cemento tipo V, sin adición de nanosilíce.

3.3.5. Prueba de Hipótesis

- **Prueba de normalidad**

Se determina la prueba de normalidad para establecer la elección del análisis estadístico. Este procedimiento permite establecer si los datos se ajustan a una distribución normal y, por ende, determinar la elección adecuada de una prueba paramétrica o no. La realización de esta prueba es

primordial dado que la elección incorrecta de una prueba podría derivar en posibles conclusiones erróneas y obtener resultados incoherentes.

○ **Hipótesis:**

- H_0 : Los datos tienen una distribución normal
- H_a : Los datos no tienen una distribución normal

Nivel de significancia:

- Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

○ **Decisión:**

1. Si el $p \geq 0.05$, se rechaza H_0 y se acepta H_a (los datos no tienen una distribución normal, entonces empleamos pruebas NO PARAMÉTRICAS).
2. Si el $p < 0.05$, se acepta H_0 y se rechaza H_a empleamos pruebas PARAMÉTRICAS).

Tabla 18

Prueba de la Normalidad

Variable	Nanosilice	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Resistencia	CM -TIPO V - SIN NS	1,000	3	1,000
	1% NS + CM- TIPO I	,942	3	,537

1.5% NS + CM-TIPO I	,964	3	,637
2% NS + CM- TIPO I	,987	3	,780

Nota. A partir de la prueba Shapiro-Wilk, se concluye que los grupos presentan tienen una distribución normal, ya que el valor de ρ es mayor a 0.05, por lo tanto, se va a trabajar con un análisis paramétrico para verificar las variaciones de las medias de los datos obtenidos de laboratorio de la prueba de resistencia a la compresión de las muestras.

- **Prueba Paramétrica:** Se utilizó la prueba T Student

- **Hipótesis**

H_0 : Las medias son iguales

H_a : Al menos una de las medias es diferente

- **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .

- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

- **Aplicamos la prueba estadística**

Tabla 19

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,667	3	8	,596
,307	3	8	,820

Nota. A partir de la tabla 21, se concluye que los grupos presentan homogeneidad, ya que el valor de ρ es mayor a 0.05, lo cual sugiere que las varianzas son homogéneas.

Tabla 20
Prueba de Anova de un Factor

F	Sig.
354,667	,000

Nota. En la tabla 22, el valor de F es considerablemente alto y el ρ es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_a , indicando que las medias de los grupos son diferentes entre sí. Para identificar específicamente qué grupos iguales, se realizaron pruebas adicionales; en este caso, se utilizará la prueba de Tukey.

- **Pruebas post hoc**
 - **Hipótesis**
 - ❖ H_0 = Las medias son iguales
 - ❖ H_a = Las medias son diferentes
 - **Decisión**
 - ❖ Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
 - ❖ Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .
 - **Prueba Estadística post hoc**

Tabla 21
Pruebas Post Hoc

(I) Nanosilice	(J) Nanosilice	Diferencia de medias (I- J)	Sig.

CM -TIPO V -SIN NS	1% NS + CM-TIPO I	-38,00000*	,000
	1.5% NS + CM-TIPO I	-62,66667*	,000
	2% NS + CM-TIPO I	-64,66667*	,000
1% NS + CM-TIPO I	CM -TIPO V -SIN NS	38,00000*	,000
	1.5% NS + CM-TIPO I	-24,66667*	,000
	2% NS + CM-TIPO I	-26,66667*	,000
1.5% NS + CM-TIPO I	CM -TIPO V -SIN NS	62,66667*	,000
	1% NS + CM-TIPO I	24,66667*	,000
	2% NS + CM-TIPO I	-200,000	,813
2% NS + CM-TIPO I	CM -TIPO V -SIN NS	64,66667*	,000
	1% NS + CM-TIPO I	26,66667*	,000
	1.5% NS + CM-TIPO I	200,000	,813

Nota. En la tabla 23 existe diferencia significativa en las resistencias de cada una de las muestras con diferentes adiciones y el concreto patrón, esto debido a que $p < 0.05$. A excepción de las muestras con adición de 1.5% con relación a la de 2% de adición de nanosílice

- **Correlación de Person**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

- H_a : La incorporación de nanosílice influye significativamente en la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

○ **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

○ **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .

○ **Análisis estadístico**

Tabla 22

Correlación de Person sobre la Influencia de la Nanosilice en la Resistencia del Concreto

	ρ	p	N
NANOSILICE - RESISTENCIA	0,934	0	12

Nota. En la tabla 24, se muestran los resultados obtenidos en SPSS de correlación de Pearson de 0.934 entre la incorporación de nanosílice y la resistencia a la compresión del concreto ($F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$), lo que indica una relación positiva fuerte entre ambas variables. Con un valor de significancia ($p = 0.000$), esta correlación es estadísticamente significativa al nivel de 0.05. Esto sugiere que el aumento en la concentración de nanosílice está asociado con un incremento en la resistencia a la compresión del concreto, apoyando la hipótesis

alternativa (H1) de que la nanosílice mejora significativamente esta propiedad en comparación con el cemento Tipo V sin nanosílice.

- **Regresión Lineal**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no tiene efecto significativo en la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice
 - Ha: La incorporación de nanosílice tiene efecto significativo en la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

- **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
 - Significancia (alfa): 5%

- **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
 - Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .

- **Análisis estadístico**

Tabla 23
Prueba Regresión Lineal

Modelo	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F	Sig.
Regresión	7172.267	7172.267	68.542	0.00

Nota. La incorporación de nanosílice en la formulación del concreto aumenta significativamente la resistencia a la compresión del material. El modelo de regresión es significativo con un valor $F=68.54$ y un nivel de significancia de $p=0.000$ en términos estadísticos, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa. Se puede inferir que la nanosílice ejerce una influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto en un grado del 5%, dado que el valor de P es igual a 0.000, inferior a 0.05.

Tabla 24
Coefficientes de Regresión Lineal

Variable	Coefficiente (B)	Error Estándar	t	Valor de Significancia (p)
(Constante)	287.667	7.233	39.77	0
Nanosílice	21.867	2.641	8.279	0

Nota. En la siguiente tabla 26, se puede evidenciar que un incremento unitario en la concentración de nanosílice se asocia con un incremento de 21.867 kg/cm en la resistencia a la compresión del concreto. El coeficiente estandarizado de 0.934 señala un impacto significativo de la concentración de nanosílice en la resistencia. Adicionalmente, el valor de significancia $p = 0.000$ $p=0.000$

corroborar que este efecto posee una significancia estadística, desestimando la hipótesis nula y aceptar la alterna.

Ecuación 5

Ecuación General de la Regresión Lineal

$$Y = B_0 + B_1X_1 \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

- Y es la variable dependiente.
- B_0 es el intercepto (o constante).
- B_1 es el coeficiente de la variable independiente.
- X_1 es la variable independiente (en este caso, "Nanosílice").

Usando tus datos:

- Constante (B_0): 287.667
- Coeficiente de Nanosílice (B_1): 21.867

Sustituyendo estos valores en la ecuación, obtenemos:

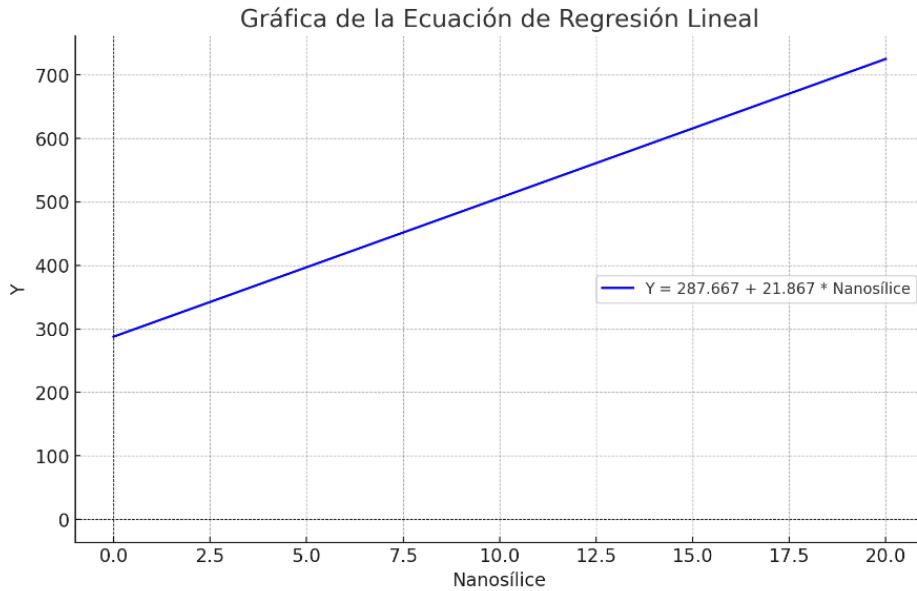
Ecuación 6

Ecuación de regresión lineal de la Resistencia a la Compresión

$$Y = 287.667 + 21.867 \times \text{Nanosílice} \dots \dots \dots (6)$$

Figura 8

Gráfica de Ecuación de la Regresión Lineal de la Resistencia a la Compresión



Nota. En la siguiente figura se muestra el modelo gráfico diseñado de la ecuación de regresión lineal de la resistencia a la compresión respecto a la adición de nanosílice.

3.4. Resultados de la Absorción

3.4.1. Evaluación de la absorción

Los hallazgos obtenidos en laboratorio en relación con la prueba de absorción de agua en el concreto con variados porcentajes de nanosílice, se exponen de acuerdo con la norma ASTM C1585-04. Esta regulación posibilita la cuantificación de la tasa de absorción de agua en materiales cementicios, proporcionando información precisa acerca de la capacidad de absorción y la durabilidad de las mezclas. Los hallazgos de esta investigación evidencian el impacto de las dosificaciones de nanosílice (1%, 1.5%

y 2%) en la disminución de la absorción, y cómo dicha alteración favorece la mejora de las propiedades de durabilidad del concreto.

Tabla 25

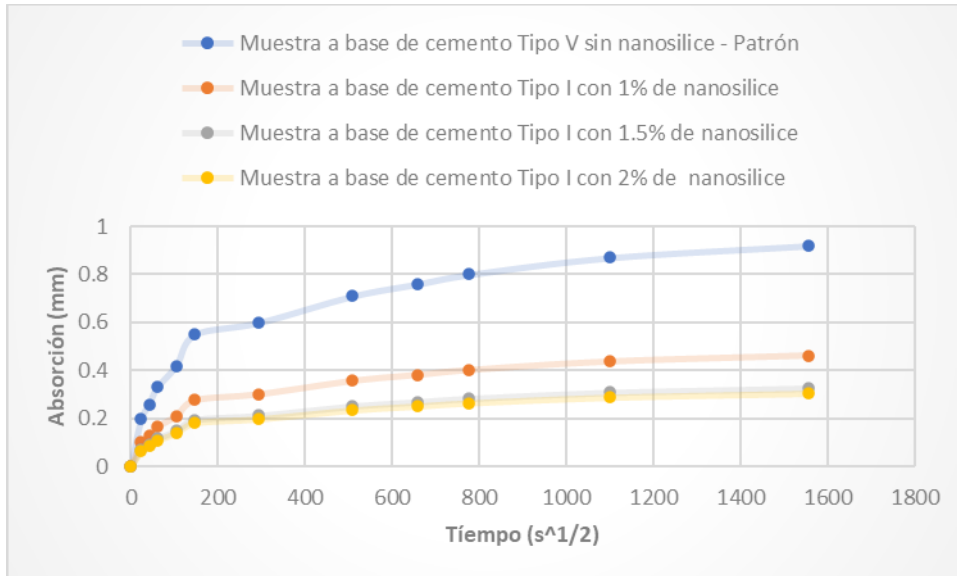
Resultados de Absorción de las Muestras con y sin Nanosilíce- ASTM C1585-04

Tiempo	Tiempo (s)	S^{1/2}	Muestra a base de cemento Tipo V sin nanosilíce - Patrón	Muestra a base de cemento Tipo I con 1% nanosilíce Nanosilíce	Muestra a base de cemento Tipo I con 1.5% nanosilíce Nanosilíce	Muestra a base de cemento Tipo I con 2% nanosilíce Nanosilíce
0 min	0	0	0	0.00	0.00	0.00
10 min	600	24	0.2	0.100	0.071	0.066
30 min	1800	42	0.26	0.131	0.092	0.086
1 hr	3600	60	0.33	0.166	0.117	0.109
3 hr	10800	104	0.42	0.211	0.149	0.139
6 hr	21600	147	0.55	0.276	0.195	0.182
1 día	86400	294	0.6	0.301	0.213	0.198
3 días	259200	509	0.71	0.356	0.252	0.234
5 días	432000	657	0.76	0.382	0.270	0.251
7 días	604800	777	0.8	0.402	0.284	0.264
14 días	1209600	1099	0.87	0.437	0.309	0.287
28 días	2419200	1556	0.92	0.462	0.327	0.304

Nota. Se presentarán los resultados de las pruebas de la prueba de succión capilar en para cada mezcla con y si nanosilíce siguiendo la Norma ASTM C1585-04.

Figura 9

Absorción de las Mezclas de Concreto de las diferentes Muestras



Nota. Se presentarán los resultados modulados de las pruebas de la prueba de succión capilar en para cada mezcla con y si nanosilice siguiendo la Norma ASTM C1585-04.

3.4.2. Prueba de Hipótesis

- **Prueba de normalidad**

Se determina la prueba de normalidad para establecer la elección del análisis estadístico. Este procedimiento permite establecer si los datos se ajustan a una distribución normal y, por ende, determinar la elección adecuada de una prueba paramétrica o no. La realización de esta prueba es primordial dado que la elección incorrecta de una prueba podría derivar en posibles conclusiones erróneas y obtener resultados incoherentes.

- **Hipótesis:**

- H_0 : Los datos tienen una distribución normal
 - H_a : Los datos no tienen una distribución normal
- **Nivel de significancia:**
- Confianza: 95%
 - Significancia (alfa): 5%
- **Decisión:**
- Si el $p \geq 0.05$, se rechaza H_0 y se acepta H_a (los datos no tienen una distribución normal, entonces empleamos pruebas NO PARAMÉTRICAS).
 - Si el $p < 0.05$, se acepta H_0 y se rechaza H_a empleamos pruebas PARAMÉTRICAS).
- **Análisis estadístico**

Tabla 26
Prueba de Normalidad para la Prueba de Absorción

Variable	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CM - TIPO V - SIN NS	0.954	12	0.693
Absorción 1% NS + CM-TIPO I	0.954	12	0.695
1.5% NS + CM- TIPO I	0.954	12	0.692

2% NS + CM-TIPO I	0.954	12	0.693
-------------------------	-------	----	-------

Nota. A partir de la prueba Shapiro-Wilk, se concluye que los grupos presentan tienen una distribución normal, ya que el valor de ρ es mayor a 0.05, por lo tanto, se va a trabajar con un análisis paramétrico para verificar las variaciones de las medias de los datos obtenidos de laboratorio de la prueba succión capilar.

- **Prueba Paramétrica:** Se utilizó la prueba Anova de un factor; ya que se cuenta con más de 2 grupos de datos para comparar sus medias

- **Hipótesis**

H_0 : Las medias son iguales

H_a : Al menos una de las medias es diferente

- **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .

- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

- **Aplicamos la prueba estadística**

Tabla 27

Prueba de Anova de un Factor

F	Sig.
11,667	,000

Nota. En la tabla 22, el valor de F es considerablemente alto y el ρ es menor a 0.05, por lo que Al menos una de las medias es diferente de los datos de absorción.

- **Pruebas post hoc**
 - **Hipótesis**
 - ❖ $H_0 =$ Las medias son iguales
 - ❖ $H_a =$ Las medias son diferentes
 - **Decisión**
 - ❖ Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
 - ❖ Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .
 - **Prueba Estadística post hoc**

Tabla 28

Prueba Post Hoc

(I) NANOSIL ICE		Diferencia de medias (I-J)	Sig.
SN + CEMENTO TIPO V	1% NS + CEMTO TIPO I	,285191*	0.001
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	,360908*	0.000
	2% NS + CEMTO TIPO I	,374283*	0.000
1% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,285191*	0.001
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	0.075718	0.717

	2% NS + CEMTO TIPO I	0.089093	0.603
1.5% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,360908*	0.000
	1% NS + CEMTO TIPO I	-0.075718	0.717
	2% NS + CEMTO TIPO I	0.013375	0.998
2% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,374283*	0.000
	1% NS + CEMTO TIPO I	-0.089093	0.603
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	-0.013375	0.998

Nota. En la tabla 30 existe diferencias significativas en algunos de los resultados de la prueba de succión capilar, todas las comparaciones entre las en las muestras hechas a base de cemento tipo V su significancia es menor a 0.05. A excepción de las muestras con adición de las comparaciones de las muestras hechas a base de cemento tipo I con adiciones de cemento Tipo I, en las cuales no hay diferencias significativas.

- **Correlación de Person**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no influye significativamente en la absorción del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

- Ha: La incorporación de nanosílice influye significativamente en la absorción del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

○ **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

○ **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .

○ **Análisis estadístico**

Tabla 29

Correlación de Pearson

	ρ	p	N
NANOSILICE - ABSORCIÓN	-0,593	0	48

Nota. La correlación de Pearson entre la adición de nanosílice y la absorción del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I es de -0.593 , lo que señala una relación inversa moderada. Esto implica que el incremento en la concentración de nanosílice resulta en una reducción significativa de la absorción del concreto. El valor $p = 0.000$ corrobora que esta relación es estadísticamente significativa al nivel del 5%, lo que posibilita la desestimación de la hipótesis nula y la aceptación de que la nanosílice tiene un impacto en la absorción.

- **Regresión Lineal**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no tiene efecto significativo en la absorción del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice
 - Ha: La incorporación de nanosílice tiene efecto significativo en la absorción del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento tipo V antisalitre sin nanosílice

- **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
 - Significancia (alfa): 5%

- **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
 - Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

- **Análisis estadístico**

Tabla 30

Prueba de Regresión Lineal para la Absorción

Modelo	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F	Sig.
Regresión	0.8620	0.8620	24.937	0.00

Nota. El análisis de regresión lineal revela un valor F de 24.937 y un nivel de significancia de 0.00, lo cual señala que el modelo de regresión tiene

significancia estadística significativa. Esto implica que la integración de nanosílice efectuó un impacto considerable en la absorción del concreto, desestimando de este modo la hipótesis nula que postula un efecto nulo.

Tabla 31

Coefficientes de Regresión Lineal de Absorción de las Muestras

Variable	Coefficiente (B)	Error Estándar	t	Valor de Significancia (p)
(Constante)	0.595	0.066	9.058	0
Nanosílice	-0.120	0.024	-4.994	0

Nota. El análisis de regresión lineal muestra que la constante es 0.595, representando la absorción del concreto sin nanosílice, mientras que el coeficiente de -0.120 para la nanosílice indica que, por cada unidad añadida, la absorción disminuye en 0.120 unidades. Esta relación es estadísticamente significativa ($p = 0.00$), confirmando que la incorporación de nanosílice reduce de manera importante la absorción del concreto. El valor t de -4.994 refuerza la relevancia de este efecto, respaldando la conclusión de que la nanosílice influye significativamente en la absorción.

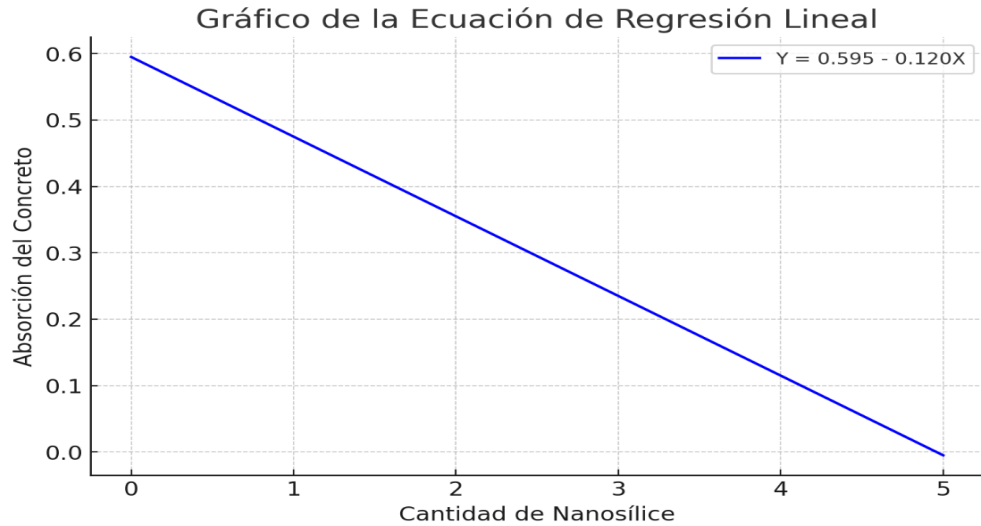
Ecuación 7

Ecuación de la regresión lineal de Absorción

$$Y = 0.595 - 0.120 \times \text{Nanosílice} \dots\dots\dots (7)$$

Ecuación 8

Gráfica de la Ecuación de Regresión Lineal de la Absorción del Concreto



Nota. En la siguiente figura se muestra el modelo gráfico diseñado de la ecuación de regresión lineal de la absorción de las muestras con y sin nanosílice.

3.5. Resultados de la pérdida de Resistencia de concreto por ataque de sulfatos severos

3.5.1. Resultados de laboratorio

Tabla 32

Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo V sin Nanosílice

SUMERGIDAS A SULFATOS 9999 ppm			SIN SUMERGIR		
7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	42 DIAS
275	293	306	277	295	310
276	292	305	275	292	308
275	292	304	278	296	306

Nota. La tabla presenta los valores de resistencia a compresión (en Kg/cm²) de la muestra patrón a base de cemento tipo V sin nanosílice. Los resultados están divididos

en dos secciones: las muestras sumergidas en una solución de sulfatos con una concentración severa de 9999 ppm y las muestras que permanecieron en curado continuo sin exposición a sulfatos. Las muestras sumergidas se curaron inicialmente en agua normal durante 14 días para obtener una resistencia base antes de la inmersión en sulfatos, mientras que las muestras sin sumergir fueron sometidas a un proceso de curado continuo desde la preparación de la mezcla.

Tabla 33

Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 1% de Nanosilice

SUMERGIDAS A SULFATOS 9999 ppm			SIN SUMERGIR		
7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	42 DIAS
334	340	343	339	343	347
335	341	345	334	342	348
332	339	344	336	345	349

Nota. La tabla presenta los valores de resistencia a compresión (en Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo con adiciones de 1% de nanosilice a diferentes edades de curado e inmersión.

Tabla 34

Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 1.5% de Nanosilice

SUMERGIDAS A SULFATOS 9999 ppm			SIN SUMERGIR		
7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	42 DIAS
343	363	362	346	367	368
342	366	366	344	369	367
341	366	365	341	366	368

Nota. La tabla presenta los valores de resistencia a compresión (en Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo con adiciones de 1.5% de nanosílice a diferentes edades de curado e inmersión.

Tabla 35

Resultados de las Resistencias a Base de Cemento Tipo I con Adición de 2% de Nanosílice

SUMERGIDAS A SULFATOS 9999 ppm			SIN SUMERGIR		
7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	21 DIAS	28 DIAS	42 DIAS
338	347	367	339	350	371
339	350	364	340	351	369
340	349	367	343	352	368

Nota. La tabla presenta los valores de resistencia a compresión (en Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo con adiciones de 1.5% de nanosílice a diferentes edades de curado e inmersión.

Tabla 36

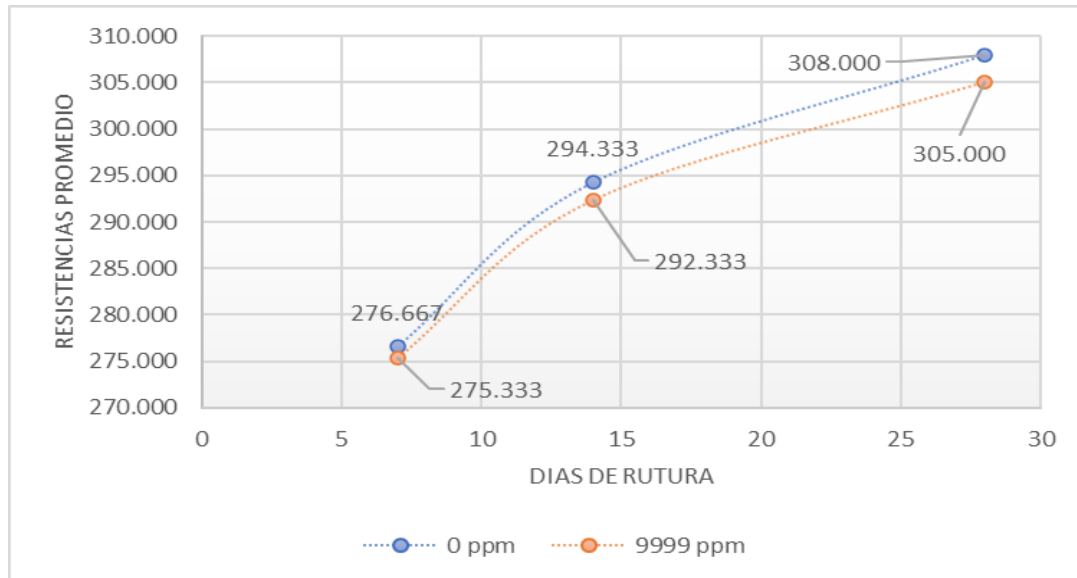
Perdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo V SN

ATAQUE A SULFATOS	RESITENCIA $F'c$ PROMEDIO		PERDIDIDA DE $F'c$
días	0 ppm	9999 ppm	%
7 DIAS	276.667	275.333	0.484 %
14 DIAS	294.333	292.333	0.684 %
28 DIAS	308.000	305.000	0.984 %

Nota. La tabla presenta los porcentajes de pérdidas de $F'c$ por un ataque cebero de sulfatos, y por otra parte se presenta los valores de resistencia a compresión (Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo V sin adiciones de nanosílice a diferentes edades de curado e inmersión.

Figura 10

Curvas de las Perdidas de $F'c$ por Ataque de Sulfatos - Cemento Tipo V SN



Nota. La figura muestra las curvas con inmersión a sulfatos vs las muestras de curado tradicional a base de cemento tipo V sin nanosilíce

Tabla 37

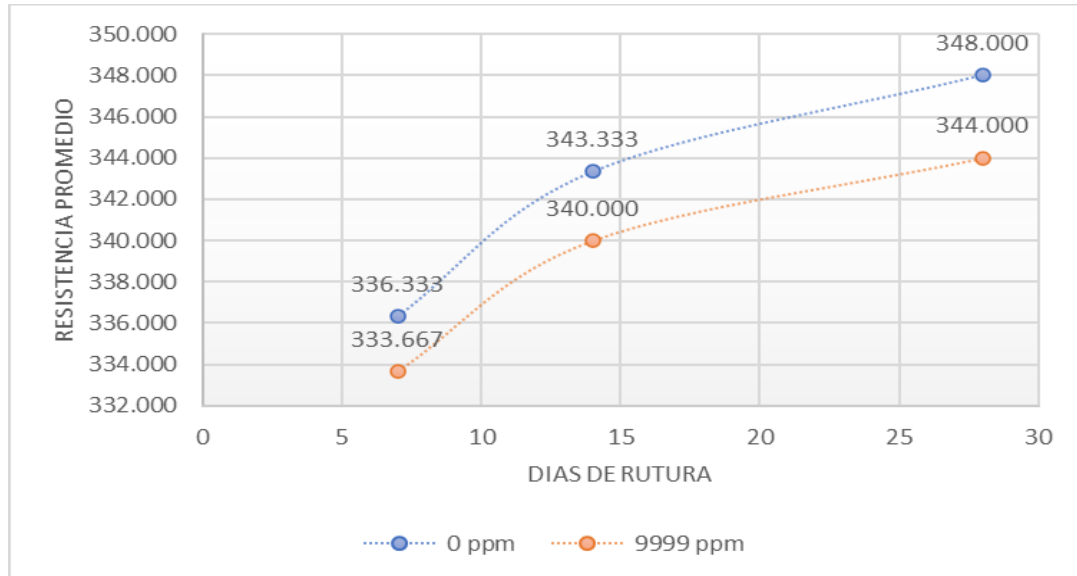
Perdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 1% NS

ATAQUE A SULFATOS	RESITENCIA $F'c$ PROMEDIO		PERDIDIDA DE $F'c$
días	0 ppm	9999 ppm	%
7 DIAS	336.333	333.667	0.799%
14 DIAS	343.333	340.000	0.980%
28 DIAS	348.000	344.000	1.163%

Nota. La tabla presenta los porcentajes de pérdidas de $F'c$ por un ataque cebero de sulfatos, y por otra parte se presenta los valores de resistencia a compresión (Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo I con 1% de adiciones de nanosilíce a diferentes edades de curado e inmersión.

Figura 11

Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 1% NS Expuestas a Sulfatos Severos



Nota. La tabla presenta las resistencias promedio obtenidas con y sin expansión a sulfatos a diferentes edades de las muestras con adición de 1% de nanosílice.

Tabla 38

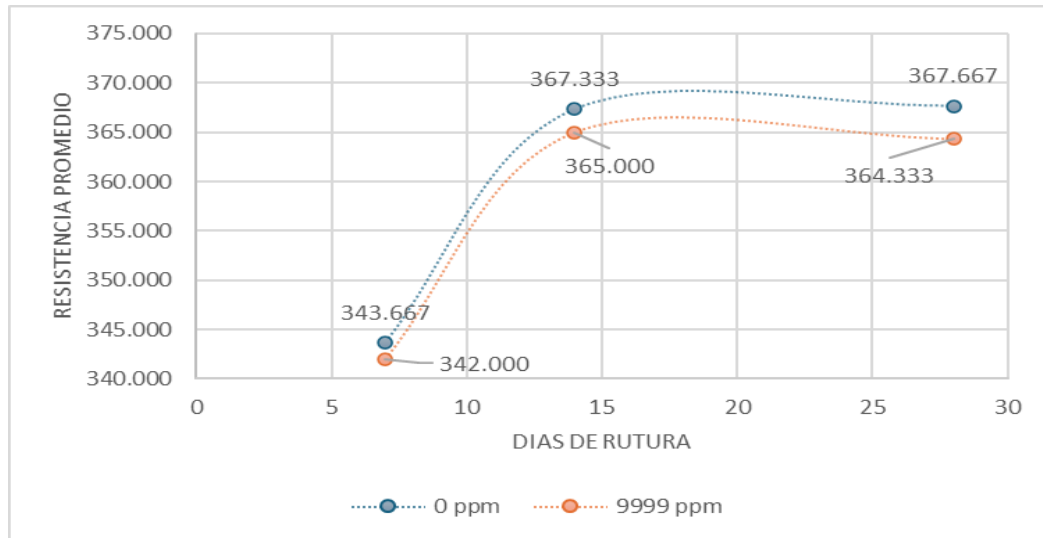
Perdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 1.5% SN

ATAQUE A SULFATOS	RESITENCIA $F'c$ PROMEDIO		PERDIDIDA DE $F'c$
días	0 ppm	9999 ppm	%
7 DIAS	343.667	342.000	0.487%
14 DIAS	367.333	365.000	0.639%
28 DIAS	367.667	364.333	0.915%

Nota. La tabla presenta los porcentajes de pérdidas de $F'c$ por un ataque cebero de sulfatos, y por otra parte se presenta los valores de resistencia a compresión (Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo I con 1.5% de adiciones de nanosílice a diferentes edades de curado e inmersión.

Figura 12

Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 1.5% NS Expuestas a Sulfatos Severos



Nota. La tabla presenta las resistencias promedio obtenidas con y sin expansión a sulfatos a diferentes edades de las muestras con adicción de 1.5% de nanosílice.

Tabla 39

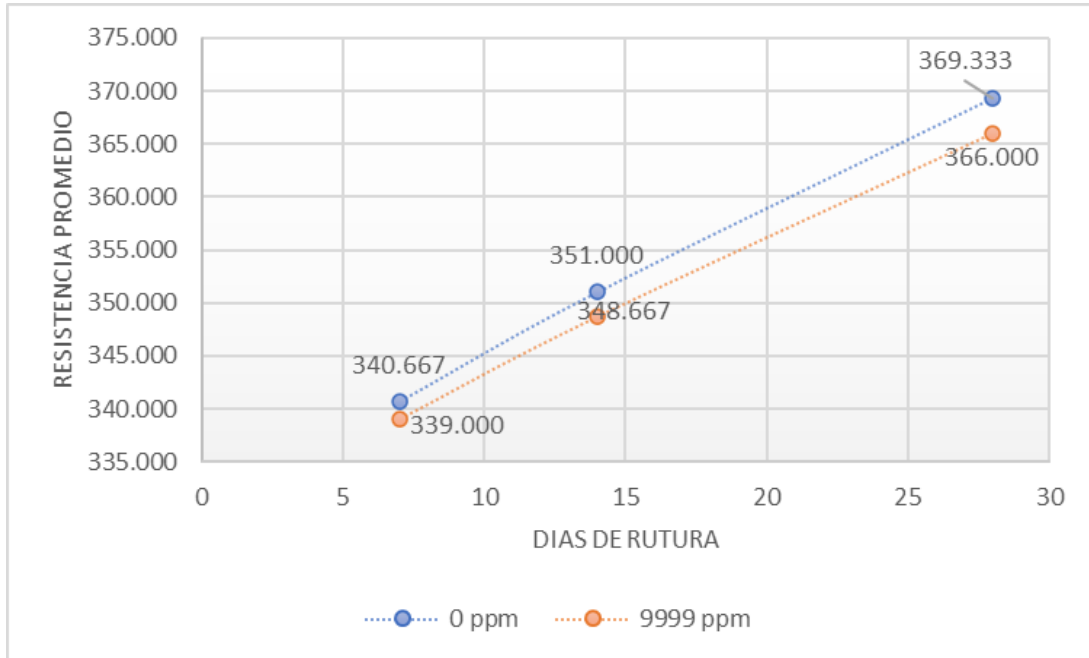
Perdida de $F'c$ por Ataque de Sulfatos, Cemento Tipo I + 2% SN

ATAQUE A SULFATOS	RESITENCIA $F'c$ PROMEDIO		PERDIDIDA $F'c$
	0 ppm	9999 ppm	%
días			
7 DIAS	340.667	339.000	0.492
14 DIAS	351.000	348.667	0.669
28 DIAS	369.333	366.000	0.911

Nota. La tabla presenta los porcentajes de pérdidas de $F'c$ por un ataque severo de sulfatos, y por otra parte se presenta los valores de resistencia a compresión (Kg/cm²) de las muestras a base de cemento tipo I con 2% de adiciones de nanosílice a diferentes edades de curado e inmersión.

Figura 13

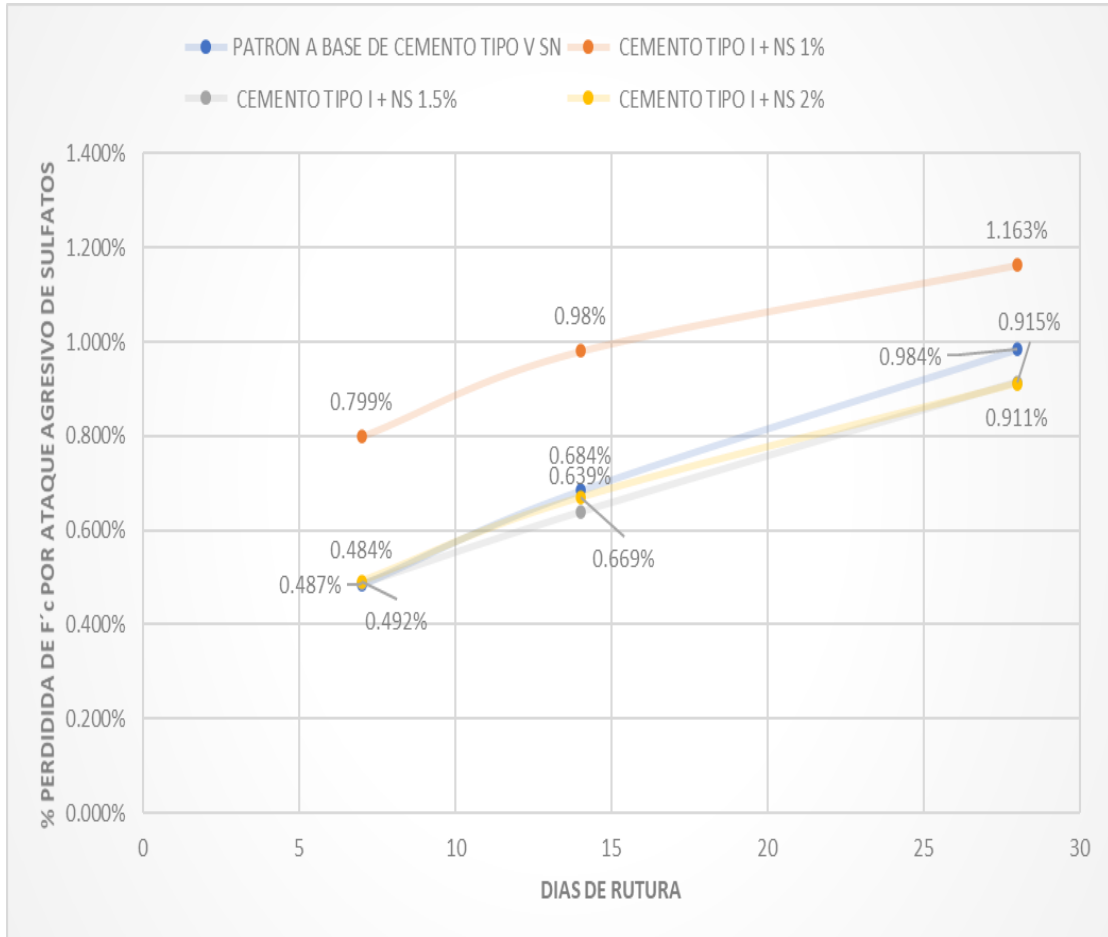
Curvas de $F'c$ de Cemento Tipo I + 2% NS Expuestas a Sulfatos Severos



Nota. La tabla presenta las resistencias promedio obtenidas con y sin expansión a sulfatos a diferentes edades de las muestras con adicción de 2% de nanosilice.

Figura 14

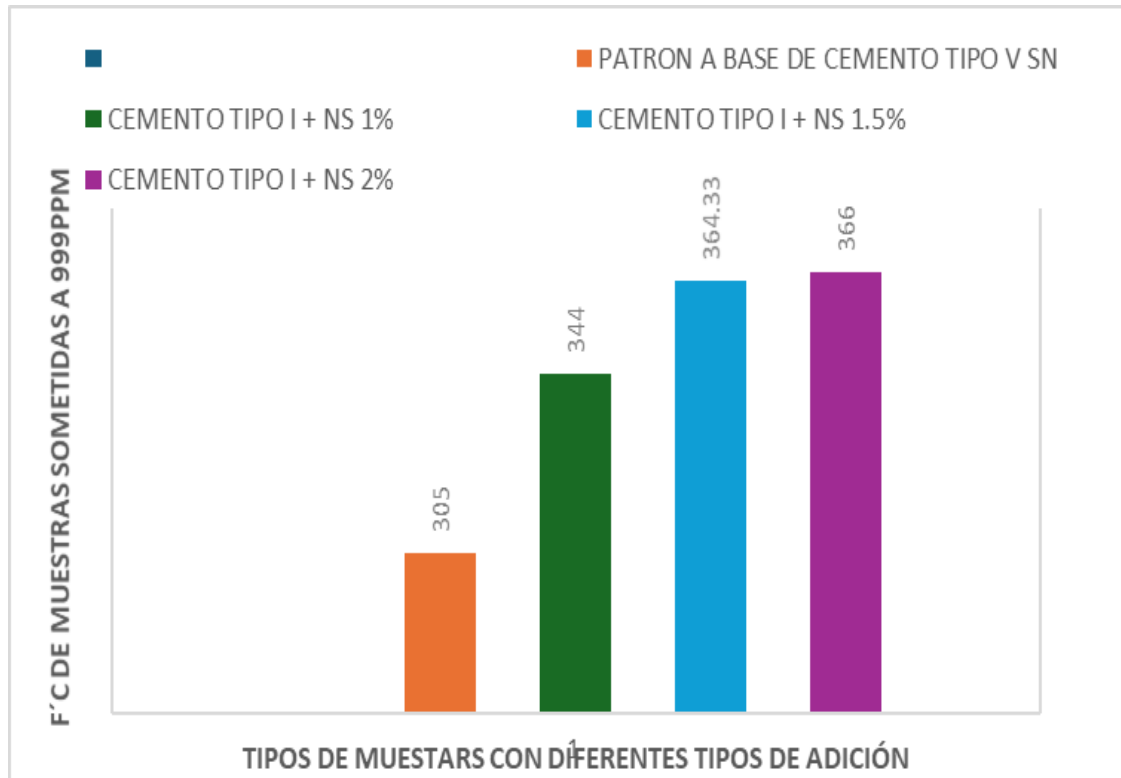
Porcentajes de Pérdidas de $F'c$ de las Diferentes Muestras



Nota. La grafica muestra los porcentajes de pérdidas de $F'c$ de las muestras con y sin nanosílice expuestas a sulfatos con una concentración severa de 9999 ppm.

Figura 15

Resistencias a la Compresión Obtenidas tras la Expansión a Sulfatos Severa



Nota. La grafica muestra las resistencias a la compresión de las muestras con y sin nanosilice obtenidas a los 28 días luego de ser expuestas a sulfatos severos con una concentración severa de 9999 ppm de sulfato de magnesio.

3.5.2. Prueba de Hipótesis

- **Prueba de normalidad**

Se determina la prueba de normalidad para establecer la elección del análisis estadístico. Este procedimiento permite establecer si los datos se ajustan a una distribución normal y, por ende, determinar la elección adecuada de una prueba paramétrica o no. La realización de esta prueba es primordial dado que

la elección incorrecta de una prueba podría derivar en posibles conclusiones erróneas y obtener resultados incoherentes.

○ **Hipótesis:**

- H_0 : Los datos tienen una distribución normal
- H_a : Los datos no tienen una distribución normal

○ **Nivel de significancia:**

- Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

○ **Decisión:**

- Si el $p \geq 0.05$, se rechaza H_0 y se acepta H_a (los datos no tienen una distribución normal, entonces empleamos pruebas NO PARAMÉTRICAS).
- Si el $p < 0.05$, se acepta H_0 y se rechaza H_a empleamos pruebas PARAMÉTRICAS).

○ **Análisis estadístico**

Tabla 40

Prueba de Normalidad de los Porcentajes de Pérdida de F'c por Ataque Severo de Sulfatos

Variable	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
CM - TIPO V - SIN NS	0.987	3	0.780
1% NS + CM-TIPO I	1.000	3	0.994
Absorción 1.5% NS + CM-TIPO I	0.973	3	0.683
2% NS + CM-TIPO I	0.992	3	0.829

Nota. A partir de la prueba Shapiro-Wilk, se concluye que los grupos tienen una distribución normal, ya que el valor de p es mayor a 0.05, por lo tanto, se va a trabajar con un análisis paramétrico para verificar las variaciones de las medias de los datos obtenidos de laboratorio de la resistencia a la compresión.

- **Prueba Paramétrica:** Se utilizó la prueba Anova de un factor; ya que se cuenta con más de 2 grupos de datos para comparar sus medias
 - **Hipótesis**

H_0 : Las medias son iguales

H_a : Al menos una de las medias es diferente
 - **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .

▪ **Aplicamos la prueba estadística**

Tabla 41

Prueba de Anova de un Factor

F	Sig.
1,309	0,333

Nota. En la tabla 42, el valor de F es mínimo y el ρ es mayor a 0.05, por lo que las medias son similares en los porcentajes de pérdidas de resistencia entre las muestras a base y cemento tipo V sin nanosílice y las de cemento tipo I con adiciones de este aditivo.

• **Pruebas post hoc**

▪ **Hipótesis**

- ❖ H_0 = Las medias son iguales
- ❖ H_a = Las medias son diferentes

▪ **Decisión**

- ❖ Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
- ❖ Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .

Tabla 42

Prueba Post Hoc

(I) NANOSIL ICE		Diferencia de medias (I-J)	Sig.
SN + CEMENTO TIPO V	1% NS + CEMTO TIPO I	,285191*	0.486
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	,360908*	0.996
	2% NS + CEMTO TIPO I	,374283*	0.999
1% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,285191*	0.486
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	0.075718	0.384
	2% NS + CEMTO TIPO I	0.089093	0.411
1.5% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,360908*	0.996
	1% NS + CEMTO TIPO I	-0.075718	0.384
	2% NS + CEMTO TIPO I	0.013375	1.000
2% NS + CEMTO TIPO I	SN + CEMENTO TIPO V	-,374283*	0.999
	1% NS + CEMTO TIPO I	-0.089093	0.411
	1.5% NS + CEMTO TIPO I	-0.013375	1.000

Nota. En la tabla 42 se puede inferir que no existe diferencias significativas en algunos de los porcentajes de pérdidas de resistencia a la compresión,

esto debido a que su significancia de todos los valores es mayor a 0.05. Por lo que se acepta la hipótesis nula y se acepta la interna

- **Correlación de Person**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no influye significativamente en la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos del concreto $F'_c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I
- Ha: La incorporación de nanosílice influye significativamente en la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos del concreto $F'_c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I.

- **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
- Significancia (alfa): 5%

- **Decisión**

- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
- Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

- **Análisis estadístico**

Tabla 43
Correlación de Pearson

	ρ	p	N
Nanosílice – Pérdida de resistencia por ataque de sulfatos	-0,197	0	12

Nota. El coeficiente de correlación de -0.197 sugiere una relación muy débil y negativa entre la cantidad de nanosílice y la pérdida de resistencia, con un p-valor de 0.540 que confirma que esta relación no es significativa. Esto implica que la variación en la cantidad de nanosílice no explica de manera relevante la pérdida de resistencia en términos porcentuales en este contexto. La pérdida se genera mayormente por la reducción de poros en el concreto, generando así que el concreto a base cemento tipo I con adiciones de nanosílice se resiste a agentes agresivos como los sulfatos similarmente a un cemento tipo V.

- **Regresión Lineal**

- **Hipótesis**

- Ho: La incorporación de nanosílice no influye significativamente en la de la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I
- Ha: La incorporación de nanosílice influye significativamente en la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I.

- **Nivel de significancia**

- Confianza: 95%
 - Significancia (alfa): 5%
- **Decisión**
- Si $\rho < 0.05$, rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .
 - Si $\rho \geq 0.05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_0 .
- **Análisis estadístico**

Tabla 44

Prueba de Regresión Lineal

Modelo	Suma de Cuadrados	Media Cuadrática	F	Sig.
Regresión	0.8620	0.8620	24.937	0.00

Nota. La ecuación de regresión muestra que el valor base de la pérdida de resistencia es de 0.862% y que, por cada unidad de nanosílice añadida, la pérdida de resistencia disminuye en un 0.038%. Sin embargo, dado que el p-valor es 0.540 (mayor a 0.05), esta relación no es estadísticamente significativa, indicando que la adición de nanosílice no tiene un impacto relevante en la variabilidad de la pérdida de resistencia por ataque de sulfatos.

Tabla 45

Coefficientes de Regresión Lineal de los Porcentajes de Perdida de $F'c$

Variable	Coefficiente (B)	Error Estándar	t	Valor de Significancia (p)
(Constante)	0.862	0.164	5.257	0.000
Nanosílice	-0.038	0.060	-0.635	0.540

Nota. El análisis de regresión lineal El coeficiente asociado a la variable "NANOSILICE" es -0.038, lo que indica que por cada unidad de incremento en la cantidad de nanosílice, la pérdida de resistencia disminuye en un 0.038%. Sin embargo, el valor de significación ($p = 0.540$) es mayor que 0.05, lo que sugiere que la relación entre la nanosílice y la pérdida de resistencia no es estadísticamente significativa en este modelo.

Ecuación 9

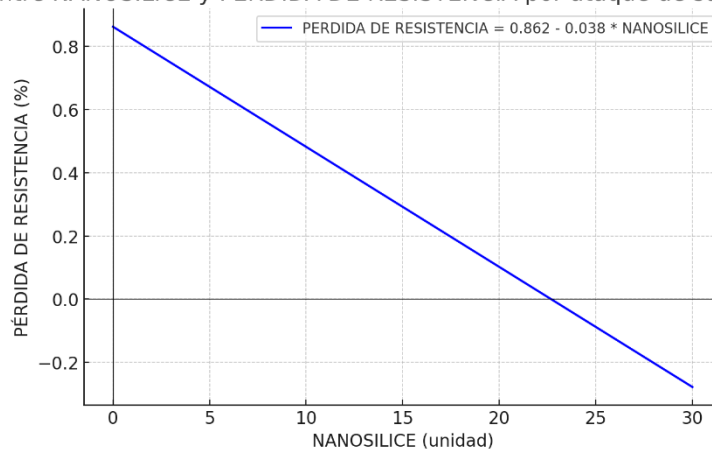
Ecuación de la regresión lineal de los Porcentajes de Perdida de $F'c$

$$PERDIDA (\%) = 0.862 - 0.038 \times Nanosílice \dots \dots \dots (8)$$

Figura 16

Grafica de la Ecuación de Perdida de $F'c$ por Sulfatos Severos

Relación entre NANOSILICE y PÉRDIDA DE RESISTENCIA por ataque de sulfatos severos (%)



Nota. En la figura se muestra la expresión grafica de la regresión lineal de la perdida de $F'c$ con expuestos a sulfatos severos.

3.6. Análisis Comparativo del Costo-Beneficio

3.6.1. Análisis de Costos

Tabla 46

Valor de los Materiales para un m³ de Concreto 280 Kg/Cm² a Base de Cemento

Tipo V sin Nanosilíce

Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Cemento Tipo V	bolsa	13.3400	S/ 36.44	S/ 486.11
Arena Fina	m ³	0.5100	S/ 84.75	S/ 43.22
Piedra Chancada de 1/2"	m ³	0.4500	S/ 84.75	S/ 38.14
Agua	m ³	0.1890	S/ 5.90	S/ 1.12
Superplastificante (Sika)	galón	1.4200	S/ 38.98	S/ 55.35
TOTAL				S/ 623.94

Nota. En esta tabla se muestra el valor de los materiales para la preparación de 1 m³ de concreto 280 Kg/cm² empleando cemento tipo V.

Tabla 47

Valor de los Materiales para un m³ de Concreto 280 Kg/Cm² a Base de Cemento

Tipo I con 1% de Nanosilíce

Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Cemento Tipo I	bolsa	13.3400	S/ 26.27	S/ 350.44
Arena Fina	m ³	0.5100	S/ 84.75	S/ 43.22
Piedra Chancada de 1/2"	m ³	0.4500	S/ 84.75	S/ 38.14
Agua	m ³	0.1890	S/ 5.90	S/ 1.12
Superplastificante (Sika)	galón	1.4200	S/ 38.98	S/ 55.35
Nanosilíce	kg	5.6800	S/ 20.00	S/ 113.60
TOTAL				S/ 601.87

Nota. En esta tabla se muestra el valor de los materiales para la preparación de 1 m³ de concreto 280 Kg/cm² empleando cemento tipo I con una adición de 1% de nanosilíce.

Tabla 48

Valor de los Materiales para un m³ de Concreto 280 Kg/Cm² a Base de Cemento

Tipo I con 1.5% de Nanosilíce

Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Cemento Tipo I	bolsa	13.3400	S/ 26.27	S/ 350.44
Arena Fina	m ³	0.5100	S/ 84.75	S/ 43.22
Piedra Chancada de 1/2"	m ³	0.4500	S/ 84.75	S/ 38.14
Agua	m ³	0.1890	S/ 5.90	S/ 1.12
Superplastificante (Sika)	galón	1.4200	S/ 38.98	S/ 55.35
Nanosilíce	kg	8.5200	S/ 20.00	S/ 170.40
TOTAL				S/ 658.67

Nota. En esta tabla se muestra el valor de los materiales para la preparación de 1 m³ de concreto 280 Kg/cm² empleando cemento tipo I con una adición de 1.5% de nanosilíce.

Tabla 49

Valor de los Materiales para un m³ de Concreto 280 Kg/Cm² a Base de Cemento

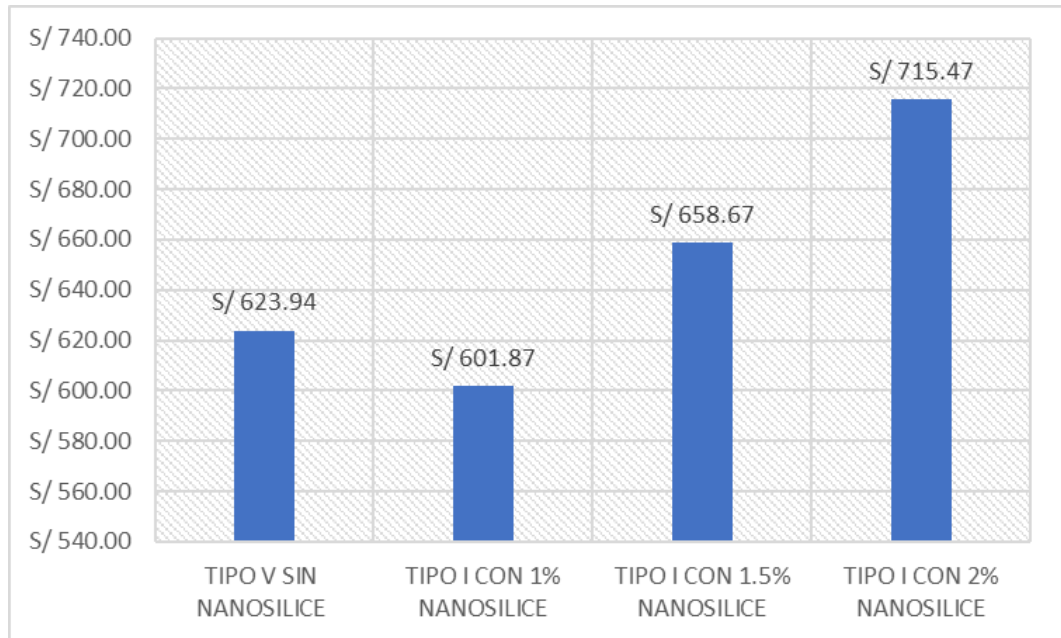
Tipo I con 2% de Nanosilíce

Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Cemento Tipo I	bolsa	13.3400	S/ 26.27	S/ 350.44
Arena Fina	m ³	0.5100	S/ 84.75	S/ 43.22
Piedra Chancada de 1/2"	m ³	0.4500	S/ 84.75	S/ 38.14
Agua	m ³	0.1890	S/ 5.90	S/ 1.12
Superplastificante (Sika)	galón	1.4200	S/ 38.98	S/ 55.35
Nanosilíce	kg	11.3600	S/ 20.00	S/ 227.20
TOTAL				S/ 715.47

Nota. En esta tabla se muestra el valor de los materiales para la preparación de 1 m³ de concreto 280 Kg/cm² empleando cemento tipo I con una adición de 2% de nanosilíce

Figura 17

Precio de Materiales para un m³ de Concreto según cada Diseño de Mezcla



Nota. En esta figura se muestra el valor unitario de los materiales para un M3 de diseño 280 Kg/cm², según los diferentes patrones.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión, absorción y resistencia a sulfatos en muestras de concreto con adición de nanosílice (1%, 1.5% y 2%) fueron analizados estadísticamente utilizando el software IBM SPSS Statistics. El objetivo fue evaluar la validez de la hipótesis general de que la nanosílice mejora la resistencia y durabilidad del concreto $F'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I, haciéndolo comparable al concreto con cemento Tipo V antisulfato en condiciones de exposición a sulfatos. Inicialmente, para la variable de resistencia a la compresión, se llevó a cabo el análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, cuyos resultados confirmaron la normalidad de los datos al obtener significancias superiores al 5% (0.05). Este hallazgo permitió aceptar la hipótesis nula y proceder con pruebas paramétricas. Seguidamente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, que evidenció diferencias estadísticamente significativas entre las medias de resistencia a la compresión de las distintas concentraciones de nanosílice y el concreto de control; a excepción de la comparación entre la adición de 1.5% y 2%, de la que salió un valor de significancia de 0.813 mucho mayor a 0.05, indicando que no existen diferencias significativas entre las muestras de esas dos adiciones. En cuanto la prueba de correlación de Pearson de 0.934 entre la incorporación de nanosílice y la resistencia a la compresión indica una relación positiva fuerte entre ambas variables. Con un valor de significancia ($p = 0.000$), esta correlación es estadísticamente significativa al nivel de 0.05. Esto sugiere que el aumento en la concentración de nanosílice está asociado con un incremento en la resistencia a la compresión del concreto. En cuanto a la

regresión lineal, se puede deducir que la incorporación de nanosílice en la formulación del concreto aumenta significativamente su resistencia a la compresión. El modelo de regresión es significativo con un valor $F=68.54$ y un nivel de significancia de $p=0.000$ en términos estadísticos. Se puede inferir que la nanosílice ejerce una influencia significativa en la resistencia a la compresión del concreto en un grado del 5%, dado que el valor de P es igual a 0.000, inferior a 0.05.

En cuanto a la absorción de agua, también se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos, la cual fue confirmada. Posteriormente, el análisis de ANOVA de un solo factor indicó diferencias significativas entre las muestras con diferentes concentraciones de nanosílice y el control, mostrando de esta manera una reducción considerable en la absorción al adicionar nanosílice a la mezcla hecha con cemento tipo I; pero si comparamos los datos obtenidos de muestras de cemento tipo I con adiciones de nanosilice entre sus diferentes porcentajes se obtuvo que las significancias de sus comparaciones no tienen diferencias significativas ya que sus valores de sus significancias son mayores a 0.05 mostrando de esta manera que la reducción en la absorción a medida que aumentaba la concentración de nanosílice no varía demasiado. El análisis de correlación de Person respaldó estos hallazgos, evidenciando una relación inversa entre la cantidad de nanosílice y la absorción de agua, en el concreto $F'_c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I donde su ρ es -0.593 , lo que señala una relación inversa moderada. Esto implica que el incremento en la concentración de nanosílice influye inversamente en una reducción de la absorción de agua en el concreto. El análisis de regresión lineal revela un valor F de 24.937 y un nivel de significancia de 0.00, lo cual señala que el modelo de regresión tiene significancia estadística significativa. Esto implica que la integración de nanosílice efectuó un

impacto considerable en la absorción del concreto.

Asimismo, en el ensayo de resistencia a sulfatos, las probetas se expusieron a condiciones de ataque severo de sulfatos, evaluándose la pérdida de resistencia a la compresión. A partir de la prueba Shapiro-Wilk, se concluye que los grupos tienen una distribución normal, ya que el valor de p es mayor a 0.05, por lo tanto, se va a trabajar con un análisis paramétrico. Para las comparaciones de medias se usó análisis de ANOVA de un factor, donde se pudo determinar que no existen diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de resistencia a la compresión por ataque a sulfatos, ya que las significancias son mayores a 0.05 en todas las comparaciones. Esto nos indica que es muy recomendable adicionar nanosílice a nuestros diseños de mezcla como alternativa al uso de cemento tipo V, recomendado por sus especificaciones técnicas para el uso donde las condiciones de sales en los suelos son elevadas. En las pruebas de correlación y regresión lineal revelaron que la adición de nanosílice al aumentar los porcentajes ligeramente va influyendo de manera inversa ante la pérdida de resistencia; pero no son significativamente menores a las muestras con adición de nanosílice con cemento tipo V. Esto se debe a que, como ya se mencionó anteriormente, este cemento es recomendado para condiciones severas de sales, en comparación con las muestras de control, validando así la hipótesis alternativa y destacando la efectividad de la nanosílice en mejorar la durabilidad del concreto bajo condiciones de exposición a sulfatos.

Por último, al analizar el costo-beneficio del uso de nanosílice en las mezclas de concreto, resulta más rentable emplear nanosílice con cemento tipo I como alternativa al cemento tipo V. El valor unitario del material de un m³ para un diseño de mezcla 280 Kg/cm² con tipo V es S/ 623.94 y, como se pudo inferir según las diferentes

pruebas estadísticas anteriormente, que la adición más eficiente por prestaciones es la de 1.5%, donde, según la relación y correlación, su resistencia y absorción influyen significativamente y no tiene estadísticamente diferencias significativas en sus diferencias de medias en las pérdidas de resistencia por ataque a sulfatos severos al ser su significancia mayor a 0.05. Su costo de los materiales para un m^3 de este diseño de mezcla de esta combinación es de S/ 658.67. Pero si el costo es un inconveniente, la adición de 1% es una muy buena opción, en el que estadísticamente sus valores arrojados de la prueba de resistencia a la compresión son inferiores al del 1.5%, pero que otorgan una diferencia significativa estadísticamente clara con el uso de cemento tipo V en su resistencia y absorción. Al mismo caso, sus valores estadísticos arrojados de la prueba de ANOVA para un valor inducen a que no hay diferencias significativas con el uso de cemento tipo V y el resto de adiciones por su valor unitario de materiales para un m^3 de S/ 601.87, y sus prestaciones lo convierten en una opción más económica y rentable que el uso de cemento tipo V en condiciones de presencias severas de sulfatos. Por consiguiente, los procedimientos estadísticos confirmaron la hipótesis general de investigación, subrayando la eficacia de la adición de nanosílice para incrementar la resistencia y durabilidad del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ante condiciones agresivas a un mejor costo-beneficio en la provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca.

En la Tabla 14 y Figura 2, se presenta la resistencia a la compresión del concreto patrón a base de cemento Tipo V sin adición de nanosílice, mostrando promedios de 248.67 kg/cm^2 , 282.67 kg/cm^2 y 301 kg/cm^2 a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Al incorporar un 1% de nanosílice en el cemento Tipo I (ver Tabla 15 y Figura 3), se observó un aumento en los promedios de resistencia, registrando 304.67 kg/cm^2 , 336

kg/cm² y 339 kg/cm² en los mismos periodos de curado. La adición del 1.5% de nanosílice (ver Tabla 17 y Figura 4) incrementó aún más la resistencia, alcanzando promedios de 315 kg/cm², 343 kg/cm² y 363.67 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días. Con una adición del 2% de nanosílice (Tabla 18 y Figura 5), los valores obtenidos fueron 319.33 kg/cm², 349.67 kg/cm² y 365.67 kg/cm², lo que demostró un comportamiento superior en comparación con el concreto sin nanosílice. Los resultados son evidencian el aumento de resistencia a compresión y se basan lo que menciona Ulmen (2020). La nanosílice es un aditivo que incrementa significativamente la resistencia del concreto en comparación, mejorando el comportamiento del concreto.

En cuanto a la absorción de agua, los datos obtenidos en la Tabla 27 muestran que las muestras de concreto a base de cemento Tipo V sin nanosílice presentaron valores de absorción más altos en comparación con las muestras con adición de nanosílice. A los 28 días, la absorción promedio de la muestra sin nanosílice fue de 0.92 mm/s^{1/2}, mientras que las muestras con 1%, 1.5% y 2% de nanosílice mostraron valores de 0.462 mm/s^{1/2}, 0.327 mm/s^{1/2} y 0.304 mm/s^{1/2}, respectivamente. Estos resultados indican una reducción significativa en la absorción conforme se incrementa el porcentaje de nanosílice, evidenciando que la adición de nanosílice mejora la impermeabilidad del concreto. La reducción en la absorción de las muestras con nanosílice se observó en todos los periodos evaluados, siendo especialmente notable a partir del séptimo día, donde las muestras con 2% de nanosílice presentaron una absorción de 0.264 mm/s^{1/2} en comparación con los 0.8 mm/s^{1/2} del cemento Tipo V sin adiciones. Estos hallazgos destacan la capacidad de la nanosílice para reducir la porosidad y, por ende, la absorción de agua, mejorando la durabilidad del concreto. Este aditivo actúa a nivel nanométrico rellenando los poros y vacíos en la matriz del

cemento, lo que resulta en una estructura más compacta y densa, mejorando la durabilidad y la capacidad de soportar condiciones agresivas Ulmen (2020).

Los resultados de la Tabla 34 a la Tabla 41 mostraron la resistencia a la compresión de las muestras expuestas a sulfatos severos (9999 ppm) y las comparaciones con las muestras que no fueron sumergidas. Para el cemento Tipo V sin adiciones de nanosílice, las pérdidas de resistencia a los 7, 14 y 28 días fueron de 0.484%, 0.684% y 0.984%, respectivamente (Tabla 38). Las muestras con 1% de nanosílice mostraron pérdidas de 0.799%, 0.980% y 1.163% a los mismos intervalos de tiempo (Tabla 39). Las muestras con 1.5% de nanosílice presentaron pérdidas menores de 0.487%, 0.639% y 0.915% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente (Tabla 40). Finalmente, las muestras con 2% de nanosílice tuvieron pérdidas de resistencia de 0.492%, 0.669% y 0.911% a los 7, 14 y 28 días, respectivamente (Tabla 41). Estas cifras subrayan que las adiciones de nanosílice reducen la pérdida de resistencia de las muestras frente a los ataques de sulfatos severos en comparación con el cemento Tipo V sin nanosílice, mostrando una efectividad más pronunciada en el caso de las adiciones del 1.5% y 2%, y evidenciando un comportamiento similar al de las muestras no sumergidas en sulfatos. Esto datos obtenidos se centran en la teoría, donde Sika (2020) menciona que la adición de nanosílice refuerza la resistencia del concreto en entornos agresivos, reduciendo la porosidad para reducir la formación de compuestos químicos que puedan generar daños al concreto, esto debido a su tamaño de 100 nanómetros que permiten una mayor superficie de reacción, lo que facilita la interacción química rápida con el hidróxido de calcio y la formación de geles de C-S-H, densificando la matriz del concreto y mejorando sus propiedades mecánicas y de durabilidad.

En el Análisis de Costo-Beneficio, la Tabla 47 mostró que el costo total de los

materiales para un m³ de concreto a base de cemento Tipo V sin nanosílice fue de S/ 623.94. Por otro lado, la Tabla 48 reveló un costo de S/ 601.87 para un m³ de concreto con 1% de nanosílice, mientras que la Tabla 49 indicó un costo de S/ 658.67 para un m³ con 1.5% de nanosílice. Finalmente, la Tabla 50 detalló un costo de S/ 715.47 para un m³ de concreto con 2% de nanosílice. Estos resultados permiten evaluar la viabilidad económica de las distintas formulaciones, considerando el aumento de la resistencia y la durabilidad obtenidas con la adición de nanosílice. Según Ulmen (2020) Como resultado de esta mayor eficiencia estructural, es posible reducir la cantidad de cemento utilizada en la mezcla sin comprometer la calidad ni la resistencia del concreto y de esta manera disminuir el costo de fabricación.

El objetivo general de esta investigación fue comparar el efecto de la nanosílice en la resistencia y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm² con cemento Tipo I y Tipo V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024. Para sustentar este estudio, se consideraron varios antecedentes relevantes, entre ellos la investigación de Ccanto D. (2021), donde evaluó la durabilidad del concreto en zonas costeras mediante el uso de cemento Tipo I con adición de nanosílice y cemento Tipo V. Se diseñaron mezclas con proporciones de nanosílice al 0.5%, 1% y 1.5%, y se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y análisis de pérdida de masa y porosidad en condiciones de exposición a sulfatos. Los resultados demostraron que el concreto con 1.5% de nanosílice alcanzó una resistencia de 391 kg/cm² a los 42 días, superando al cemento Tipo V con 385 kg/cm². Las pérdidas de masa y la porosidad también fueron menores en el concreto con nanosílice (0.00483% y 1.70%, respectivamente) frente al cemento Tipo V (0.00509% y 1.73%). Por otro lado, en la investigación actual, se trabajó con una mezcla de $F'c = 280$ kg/cm² con una relación a/c de 0.50, donde la adición de 1% de nanosílice

mostró una mejora del 15% en la resistencia a los 28 días. Esto confirma que la nanosílice es una opción viable y económica para mejorar la durabilidad en ambientes costeros.

En el estudio de Chávez C. (2022) sobre la incorporación de nanosílice en pavimentos rígidos en Huancayo, se prepararon 72 muestras de concreto con concentraciones de 1%, 2% y 3% de nanosílice. Las pruebas de resistencia a la compresión y flexión indicaron que el concreto con 3% de nanosílice logró una resistencia de 380.12 kg/cm², mientras que el concreto convencional alcanzó 294 kg/cm². Además, se observó una disminución del 64.17% en la exudación. Por otro lado, en la presente investigación, se observó que la adición de 1.5% de nanosílice en una mezcla con $F'c = 280$ kg/cm² mejoró la resistencia en un 18% a los 28 días. Esto coincide con los hallazgos de Chávez, quienes destacaron que la nanosílice aumenta significativamente la resistencia y reduce la permeabilidad del concreto.

En la tesis de Saavedra O. (2019), se investigó la influencia de la nanosílice en la resistencia y costo de producción de concretos elaborados con cementos Yura Tipo I y Tipo IP. Las evaluaciones de mezclas con 0.5% y 0.7% de nanosílice mostraron un incremento de la resistencia a la compresión del 12.7% en comparación con la mezcla estándar. Además, se registró una reducción en los costos de producción al utilizar 0.5% de nanosílice. Por otro lado, en el presente estudio, se encontró que una adición de 1% de nanosílice mejoró la resistencia a la compresión y fue económicamente viable, corroborando los beneficios señalados por Saavedra en cuanto a optimización de costos y rendimiento.

En la investigación de Dongo P. y Saavedra O. (2021), se analizó el impacto de

la nanosílice en la permeabilidad y resistencia del concreto en Arequipa, usando concentraciones de 0.5% y 0.7% de nanosílice con relaciones agua/cemento de 0.60, 0.55 y 0.50. Se observó una notable reducción de la permeabilidad y un aumento en la resistencia a la compresión, alcanzando 485 kg/cm² en la mezcla con una relación a/c de 0.50 y 0.5% de nanosílice. Por otro lado, en la investigación actual, se trabajó con un diseño similar que demostró mejoras en la durabilidad y resistencia con una adición de 1% de nanosílice, alineándose con los resultados obtenidos por Dongo y Saavedra.

En el estudio de Díaz Y. y Estrada J. (2021), se evaluó la mejora de las propiedades del concreto estructural mediante la sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS con nanosílice. Se realizaron pruebas con concentraciones de 0.3%, 0.8% y 1.3%, logrando un aumento en la resistencia a la compresión del 154.3% a los 28 días con una adición de 1.3% de nanosílice. Por otro lado, en la presente investigación, la adición de 1.5% de nanosílice mejoró la resistencia en un 18% a los 28 días, similar a los resultados de Díaz y Estrada, quienes concluyeron que la nanosílice incrementa la resistencia y durabilidad, especialmente en ambientes agresivos.

Jiménez R. (2022), diseñó un concreto específicamente para cimentaciones profundas que están expuestas a un alto nivel freático. En esta investigación se analizaron las concentraciones de nanosílice al 0.5%, 0.75% y 1%, que fueron incorporadas en las mezclas de concreto con una relación agua/cemento de 0.55. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la compresión, exudación, tiempo de fraguado y permeabilidad. Los resultados indicaron que la adición de nanosílice en una proporción del 1% tuvo un impacto positivo en la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, logrando alcanzar 434.4 kg/cm². Este aumento fue

significativo en relación al concreto sin aditivos. Adicionalmente, se ha notado que la utilización de partículas de nanosílice disminuyó la exudación del concreto, lo cual incrementó su cohesión y redujo la segregación. El período de endurecimiento inicial se extendió, lo cual resulta ventajoso para su uso en entornos con un alto nivel de agua subterránea, ya que facilita una colocación más precisa del concreto. Este estudio establece que la inclusión de partículas de nanosílice resulta eficaz en el incremento de la resistencia y durabilidad del hormigón impermeable, particularmente en situaciones donde las bases están expuestas a niveles elevados de agua subterránea. La utilización del 1% de nanosílice demostró ser la cantidad adecuada, logrando un equilibrio óptimo entre la resistencia mecánica y las características de manejabilidad del concreto (p.106).

Carrasco V. y Fernández H. (2021) abarcaron una variedad de pruebas mecánicas y de permeabilidad en distintas cantidades de nanosílice y fibras (0%, 0.5%, 0.75% y 1%) añadidas a un hormigón con una resistencia de diseño de $f'c = 280$ kg/cm². Los resultados señalaron que al agregar nanosílice y fibra de polipropileno se aumentó la resistencia a compresión del hormigón, logrando resistencias de hasta 434.9 kg/cm² con una proporción del 1% de nanosílice a los 28 días. No obstante, se ha notado que un incremento en la cantidad de nanosílice no resultaba en una mejora significativa en la resistencia, siendo el porcentaje óptimo el 0.5%. En lo que respecta a la permeabilidad, la adición de fibras de polipropileno mejoró la cohesión del hormigón, lo que resultó en una disminución de la permeabilidad y exudación. Este estudio llega a la conclusión de que la inclusión de nanosílice y fibra de polipropileno en hormigones ecológicos no solo aumenta la resistencia a la compresión, sino que también mejora la permeabilidad, convirtiéndolo en una opción viable para pavimentos y cimentaciones

en entornos desafiantes. No obstante, es importante considerar que cantidades superiores al 1% podrían carecer de justificación económica, dado que no aportan mejoras significativas a las características del concreto (115).

Cabanillas H. (2020), diseñó una mezcla donde incorporó nanosílice y superplastificante en las propiedades mecánicas y la durabilidad del hormigón de alta resistencia con un contenido de cemento de 500 kg/cm². En la presente investigación, se evaluaron concentraciones de nanosílice y superplastificante en diversas proporciones (0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.5%) con el objetivo de discernir su impacto en la resistencia a la compresión y en las propiedades físicas del hormigón. Los hallazgos indicaron que la incorporación de nanosílice mejoró notablemente la resistencia a la compresión del hormigón, registrando un incremento del 56.92% en comparación con el hormigón estándar a los 28 días cuando se aplicó un 1% de nanosílice. Además, la incorporación de superplastificante optimizó la trabajabilidad del hormigón, facilitando una compactación más efectiva sin menoscabar su resistencia. La combinación de ambos productos (nanosílice y superplastificante) condujo a mejoras significativas en la resistencia y durabilidad del hormigón, alcanzando una resistencia máxima de 826.51 kg/cm². Esta investigación concluye que la incorporación de nanosílice y superplastificante resulta eficaz en la optimización de las propiedades del hormigón de alta resistencia, lo que lo convierte en un material adecuado para estructuras sometidas a cargas de gran magnitud. La dosis óptima identificada fue del 1% de nanosílice, y dosis incrementadas no condujeron a mejoras significativas adicionales (106).

Castañeda L. y Salguero C. (2020) elaboraron un diseño de concreto enriquecido con nanosílice para su aplicación en canales hidráulicos expuestos a sulfatos en la costa norte del Perú, especialmente en el Proyecto Especial Chavimochic:

ETAPA I. Esta investigación experimental integró evaluaciones en consonancia con las regulaciones nacionales e internacionales (NTP, ASTM y NTC) con el propósito de analizar las propiedades de los agregados, agua y concreto en sus estados fresco y endurecido. Se realizaron experimentos con variados grados de nanosílice (0.2%, 0.225% y 0.25%) en la mezcla de hormigón, concluyendo que la adición del 0.225% ofrecía una mayor trabajabilidad y una relación agua/cemento de 0.45. Los descubrimientos señalaron que el hormigón nanosílice demostró un incremento del 3.41% en la resistencia a la compresión y un 19.48% en la resistencia a la tracción a los 28 días, en comparación con el hormigón simple. Además, las muestras con nanosílice manifestaron una disminución del 50% en su deterioro como resultado de una exposición a sulfatos. Este postulado sugiere que la nanosílice no solo potencia la resistencia mecánica del hormigón, sino que también prolonga su vida útil en contextos de alta agresividad, como los canales hidráulicos expuestos a sulfatos en la costa norte del Perú.

Ayala K. y Ccallo, M. (2020), se centró primordialmente en examinar el impacto de la nanosílice en las propiedades del concreto utilizando agregados reciclados de concreto (ACR). La investigación evaluó combinaciones de nanosílice (0%, 0.75%, y 1%) y ACR (0%, 50%, y 100%), con un enfoque particular en la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción del hormigón a los 7, 14, y 28 días. Las muestras se contrastaron con concreto convencional exento de nanosílice. Los hallazgos evidenciaron que la incorporación de nanosílice mejoró la resistencia a la compresión del hormigón reciclado, logrando una mejora del 21% en comparación con la mezcla sin nanosílice a los 28 días. La combinación óptima resultó ser la M4 (100% ACR y 1% nanosílice), que sobrepasó incluso al concreto convencional (M0) sin

aditivos. Adicionalmente, el hormigón con nanosílice demostró una cohesión superior, lo que disminuyó la porosidad y mejoró la densidad del material. La conclusión de este estudio es que la integración de nanosílice en concreto con ACR representa una opción factible para optimizar las propiedades mecánicas del material, lo que lo convierte en un material adecuado para aplicaciones estructurales en el sector de la construcción. Adicionalmente, la aplicación de ACR en combinación con nanosílice constituye una alternativa sostenible y eficaz, contribuyendo a la minimización de desechos derivados de la construcción (106).

En la investigación de Bombon C. y Rosero B. (2022), titulada "Análisis de la inclusión de nanosílice en concreto de alto rendimiento (HPC)", se evaluaron los efectos de añadir diferentes concentraciones de nanosílice (0.75%, 1.5%, 3%) y sustituciones de microsílice (5%, 10%) en concreto de alto rendimiento. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad, entre otras. Los resultados indicaron que la incorporación de un 1.5% de nanosílice incrementó la resistencia a la compresión en un 8.44% y el módulo de rotura en un 16.21% después de 28 días de curado. Por otro lado, en la presente investigación se observó que la adición de nanosílice al 1% en concreto con $F'_c = 280$ kg/cm² mejoró la resistencia a la compresión, destacando la similitud en el impacto positivo de la nanosílice para optimizar las propiedades mecánicas del concretoesto, ahora tienes seis antecedentes completos para tu sección. Si necesitas más detalles o ajustes, por favor, házmelo saber.

La investigación relacionada con la implementación de nanosílice en mezclas de concreto se encontró con múltiples limitaciones. El elemento primordial de esta investigación fue la duración requerida para llevar a cabo las pruebas de resistencia de las muestras sometidas a sulfatos. Para enfrentar este obstáculo, se instauró un protocolo

de curado tradicional a los 14 días, tras el cual las muestras fueron sometidas a un periodo de sulfatación intensa. A pesar de que la realización de pruebas tras un período de inmersión más extenso hubiera permitido un análisis más detallado del comportamiento del nanosílice frente a los sulfatos, esta restricción fue superada sin generar mayores contratiempos. Esta metodología facilitó una evaluación eficaz del porcentaje de pérdida de resistencia atribuible al ataque de sulfatos, resultando en resultados precisos y pertinentes. Subsecuentemente, surgieron otros desafíos considerablemente más accesibles de abordar, tales como la variabilidad en la calidad de los materiales de construcción y la disponibilidad de equipos particulares, factores que podrían afectar la consistencia y la reproducibilidad de los hallazgos. Adicionalmente, se enfrentaron obstáculos para la distribución de nanosílice, dado que se requirió un desplazamiento hasta la ciudad de Lima para su adquisición. Finalmente, el traslado de los agregados desde la cantera "Doña Ramona" en la provincia de Cajabamba hacia la ciudad de Trujillo resultó ser un poco complejo. Para atenuar estos retos, se instauraron tácticas como la normalización de los procedimientos de mezcla y curado, así como la colaboración con laboratorios especializados para asegurar la exactitud en las evaluaciones de resistencia y durabilidad. Esto se complementa con la gestión y la comunicación para suministrar y distribuir los aditivos y materiales, transportándolos a Trujillo, urbe donde se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio. Pese a estas restricciones, estas no impidieron en absoluto la obtención de resultados precisos y exactos. La investigación proporciona conocimientos significativos acerca de la eficacia de la nanosílice en la optimización de las propiedades mecánicas del hormigón, proporcionando un fundamento robusto para investigaciones futuras y su implementación en proyectos de infraestructura que demandan una elevada resistencia

y durabilidad. La investigación se centró en el período necesario para llevar a cabo las pruebas de resistencia de las muestras sometidas a la aplicación de sulfatos. Para enfrentar este obstáculo, se instauró un protocolo de curado tradicional a los 14 días, tras el cual las muestras fueron sometidas a un periodo de sulfatación intensa. A pesar de que la realización de pruebas tras un período de inmersión más extenso hubiera permitido un análisis más detallado del comportamiento del nanosílice frente a los sulfatos, esta restricción fue superada sin generar mayores contratiempos. Esta metodología facilitó una evaluación eficaz del porcentaje de pérdida de resistencia atribuible al ataque de sulfatos, resultando en resultados precisos y pertinentes. Subsecuentemente, surgieron otros desafíos considerablemente más accesibles de abordar, tales como la variabilidad en la calidad de los materiales de construcción y la disponibilidad de equipos particulares, factores que podrían afectar la consistencia y la reproducibilidad de los hallazgos. Adicionalmente, se enfrentaron obstáculos para la distribución de nanosílice, dado que se requirió un desplazamiento hasta la ciudad de Lima para su adquisición. Finalmente, el traslado de los agregados desde la cantera "Doña Ramona" en la provincia de Cajabamba hacia la ciudad de Trujillo resultó ser un poco complejo. Para atenuar estos retos, se instauraron tácticas como la normalización de los procedimientos de mezcla y curado, así como la colaboración con laboratorios especializados para asegurar la exactitud en las evaluaciones de resistencia y durabilidad. Esto se complementa con la gestión y la comunicación para suministrar y distribuir los aditivos y materiales, transportándolos a Trujillo, urbe donde se llevaron a cabo las pruebas de laboratorio. Pese a estas restricciones, estas no impidieron en absoluto la obtención de resultados precisos y exactos.

Este estudio ofrece datos relevantes respecto a la eficacia de la nanosílice como

aditivo en el concreto, evidenciando su potencial para mejorar de manera significativa las propiedades del concreto. Los resultados derivados corroboran que la integración de nanosílice no solo aumenta la resistencia a la compresión, sino que también mejora la durabilidad del concreto frente a condiciones ambientales extremas, como la presencia de sulfatos. Estos descubrimientos constituyen una aportación significativa al sector de la construcción, dado que establecen una fundamentación técnica fiable que puede ser empleada en futuras investigaciones. Adicionalmente, este estudio abre nuevas alternativas para la aplicación de tecnologías fundamentadas en nanosílice en proyectos de infraestructura que requieren elevados estándares de resistencia y durabilidad. La relevancia de su implementación podría ser particularmente significativa en trabajos sometidos a condiciones climáticas extremas, suelos de naturaleza agresiva o elevados niveles de humedad, en las que la durabilidad de los materiales es fundamental para asegurar la sostenibilidad y funcionalidad a largo plazo. Los hallazgos de este estudio fomentan un progreso en la innovación tecnológica en el sector, proporcionando una solución práctica y eficaz para los retos contemporáneos en el diseño y construcción de infraestructuras de mayor resistencia y durabilidad.

Los resultados obtenidos en esta investigación se ubican en el contexto de la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm² en la región de Cajabamba, Cajamarca. Donde, la inclusión de nanosílice en las mezclas de concreto demostró ser eficaz para incrementar la resistencia a la compresión y reducir la succión capilar, y reducir la pérdida de resistencia de la misma manera que un cemento tipo V, factores críticos para el rendimiento del concreto en condiciones de diversidad geográfica y climatológica como lo es la provincia de Cajabamba, lo que resalta la relevancia de este estudio para el desarrollo de infraestructuras más duraderas

y eficientes en dicha zona.

Las implicancias de esta investigación son significativas tanto para la industria de la construcción como para la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura. El uso de nanosílice en las mezclas de concreto no solo mejora la resistencia y durabilidad del material, sino que también permite la optimización de los recursos utilizados, como la reducción de la cantidad de cemento, contribuyendo así a un menor impacto ambiental. Estos resultados pueden influir en la adopción de prácticas constructivas más sostenibles y en la elaboración de normativas que promuevan el uso de aditivos avanzados en regiones con condiciones adversas. Asimismo, los hallazgos podrían motivar futuras investigaciones enfocadas en la adaptación de estas tecnologías a otros tipos de cemento y mezclas, expandiendo el alcance de su aplicación.

4.2. Conclusiones

- Conclusión del O.E.1: Las evaluaciones de resistencia a la compresión en las muestras de concreto $F'c = 280$ kg/cm² con adición de nanosílice demostraron un incremento significativo en comparación con el cemento Tipo V sin aditivos. A los 28 días, las muestras con 1% de nanosílice alcanzaron un promedio de 339 kg/cm², las de 1.5% obtuvieron 363.67 kg/cm², y las de 2% lograron 365.67 kg/cm². Por su parte, el cemento Tipo V presentó un valor de 301 kg/cm². Estos resultados confirman que la nanosílice es un aditivo efectivo para mejorar la resistencia a la compresión del concreto, destacándose como una alternativa viable al uso de cementos especializados.
- Conclusión del O.E.2: El análisis de la absorción en las muestras de concreto con adición de nanosílice evidenció una reducción significativa en

comparación con las mezclas de cemento Tipo V sin aditivos a los 28 días. Las muestras con 1% de nanosílice presentaron una absorción de $0.462 \text{ mm/s}^{1/2}$, las de 1.5% tuvieron $0.327 \text{ mm/s}^{1/2}$, y las de 2% mostraron $0.304 \text{ mm/s}^{1/2}$, en contraste con el cemento Tipo V que registró una absorción de $0.92 \text{ mm/s}^{1/2}$. Estos resultados subrayan la efectividad de la nanosílice para reducir la absorción de agua en el concreto, mejorando su impermeabilidad y su resistencia a condiciones ambientales agresivas.

- Conclusión del O.E.3: Las pruebas de resistencia a la compresión de las muestras de concreto con cemento Tipo I y adiciones de nanosílice, sometidas a un ataque severo de sulfatos (9999 ppm), mostraron una similar pérdida de resistencia en comparación con las muestras de cemento Tipo V. Los resultados indicaron que las muestras con un 1% de nanosílice presentaron pérdidas de resistencia de 0.799% a los 7 días, 0.980% a los 14 días y 1.163% a los 28 días. En el caso de las muestras con 1.5% de nanosílice, las pérdidas fueron de 0.487% a los 7 días, 0.639% a los 14 días y 0.915% a los 28 días. Por último, las muestras con 2% de nanosílice tuvieron pérdidas de 0.492% a los 7 días, 0.669% a los 14 días y 0.911% a los 28 días. Estos resultados evidencian que la incorporación de nanosílice protege al concreto de los ataques de los sulfatos parecido al cemento tipo V, validando su uso como aditivo eficaz para mejorar la durabilidad en ambientes altamente agresivos.

- Conclusión del O.E.4: El análisis del costo-beneficio de la incorporación de nanosílice en el concreto con cemento Tipo I mostró que, a pesar del costo inicial de los aditivos, la mejora en la resistencia y durabilidad del concreto puede compensar estos gastos al reducir la necesidad de mantenimiento y

aumentar la vida útil de las estructuras. La nanosílice se presenta como una opción viable y económica en comparación con el cemento Tipo V, destacándose por su capacidad de optimizar el rendimiento del concreto y ofrecer una solución rentable para proyectos de infraestructura.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar la adición de nanosílice en una concentración de 1.5% en proyectos de construcción que requieran alta resistencia a la compresión, especialmente en entornos donde se busca mejorar la capacidad de carga del concreto. Estas concentraciones han demostrado ser las más efectivas para maximizar la resistencia mecánica y pueden ser implementadas en diseños estructurales que prioricen durabilidad y rendimiento.
- Es aconsejable incorporar entre 1.5 % a 2% de nanosílice en las mezclas de concreto para reducir succión capilar y reducir la absorción de agua, particularmente en construcciones expuestas a ambientes húmedos o a la acción de agentes corrosivos. Esta adición contribuirá a prolongar la vida útil de las estructuras y a minimizar los daños provocados por la infiltración de agua y humedad.
- Para futuras investigaciones que se centren únicamente en la resistencia a sulfatos del concreto, se recomienda que la inmersión de las muestras de concreto sea a edades mucho más prolongadas que los 28 días. Esto permitirá verificar si se mantiene el comportamiento del nanosílice en paralelo al uso de un cemento tipo V, proporcionando una evaluación más completa de su eficacia en condiciones agresivas. Esta estrategia es crucial para entender mejor cómo el

nanosílice puede contribuir a la durabilidad del concreto en entornos expuestos a sulfatos y otros agentes químicos, asegurando que las propiedades mecánicas se mantengan a lo largo del tiempo.

- Para maximizar el costo-beneficio en proyectos de construcción, se recomienda el uso de nanosílice en concentraciones adecuadas para obtener un equilibrio entre resistencia y costo. Implementar el uso de un 1% a 1.5% de nanosílice puede resultar en un ahorro de recursos a largo plazo debido a la reducción en la necesidad de mantenimiento y la mayor durabilidad del concreto, haciendo más viable su aplicación en proyectos de infraestructura a gran escala

REFERENCIAS

ACI (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14)*.

ACI. (2002). *ACI Manual of Concrete Practice*. American Concrete Institute.

AlTawaiha, H., Alhomaidat, F., y Eljufout, T. (2023). *A Review of the Effect of Nano-Silica on the Mechanical and Durability Properties of Cementitious Composites. Infrastructures*, 8(132). <https://doi.org/10.3390/infrastructures8090132>

Althoey, F., Zaid, O., Martínez-García, R., Alsharari, F., Ahmed, M., & Arbili, M. M. (2023). *Impact of Nano-silica on the hydration, strength, durability, and microstructural properties of concrete: A state-of-the-art review*. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01997. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01997>

Alvansaz, M., Bombon, C., y Rosero, B. (2022). *Estudio de la incorporación de nanosílice en concreto de alto desempeño (HPC)*. *Revista Ingenio*, 5(1), 12-21. <http://dx.doi.org/10.29166/ingenio.v5i1.3786>

American Concrete Institute. (2002). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete (ACI 211.1-91)*. American Concrete Institute.

American Concrete Institute. (2015). *Guide to concrete floor and slab construction (ACI 302.1R-15)*. American Concrete Institute.

American Concrete Institute. (1996). *ACI 221R-96: Guía de selección y uso de agregados para concreto*. American Concrete Institute.

ASTM International. (2017). *ASTM C496/C496M-17: Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens.*

<https://www.astm.org/standards/c496>

ASTM International. (2018). *ASTM C1012/C1012M-18: Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution.*

<https://www.astm.org/standards/c1012>

ASTM International. (2018). *ASTM C33/C33M-18: Standard specification for concrete aggregates.* <https://www.astm.org/standards/c33>

ASTM International. (2018). *ASTM C1602/C1602M-18: Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete.*

<https://www.astm.org/standards/c1602>

ASTM International. (2019). *ASTM C192/C192M-19: Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory.* <https://www.astm.org/standards/c192>

ASTM International. (2019). *ASTM C494/C494M-19: Standard specification for chemical admixtures for concrete.* <https://www.astm.org/standards/c494>

ASTM International. (2020). *ASTM C39/C39M-20: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.* <https://www.astm.org/standards/c39>

ASTM International. (2020). *ASTM C150/C150M-20: Standard specification for Portland cement.* <https://www.astm.org/standards/c150>

ASTM International. (2013). *ASTM C882/C882M-13: Standard test method for bond strength of epoxy-resin systems used with concrete.*

<https://www.astm.org/standards/c882ASTM C33>: Especificación estándar para agregados de concreto. American Society for Testing and Materials.

Ayala, K., y Ccallo, M. (2020). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto con ACR empleando aditivo nanosílice*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/654827>

Caballero, P., Damiani, C., y Ruiz, A. (2021). *Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(1). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732021000100071>

Cabanillas, H. (2020). *Concreto de alta resistencia, utilizando nanosílice y superplastificante*. Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3726>

Castañeda, L, y Salguero, C. (2020). *Diseño y evaluación de concreto resistente a sulfatos mediante la adición de nanosílice para la construcción de canales en la costa norte: Caso Chavimochic Etapa I*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <http://hdl.handle.net/10757/652758>

Ccanto D. (2021). *Evaluación de la durabilidad del concreto en zonas costeras con cementos tipo I adicionando nanosílice y tipo V, Callao - 2021*. Tesis de pregrado, Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/110250>

Chavez, C. (2022). *Incorporación de nanosílice en pavimentos rígidos para una alta resistencia mecánica, provincia de Huancayo*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/7607>

Chávez, B. (2018). *Análisis de la influencia del nanosílice y superplastificante en la resistencia a la compresión del concreto sometido a congelamiento y deshielo en la ciudad de Chaupimarca, Pasco*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3580>

Crespín, C. y Slee, M. (2021). *Mejoramiento de la fluidez y resistencia del concreto simple con la aplicación de nanosílice, Tarapoto 2021*. Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/1717>

Díaz Y., & Estrada J. (2021). *Mejora de las propiedades del concreto estructural mediante sustitución parcial del cemento Portland Tipo MS por nanosílice – Chimbote*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3975>.

Dongo, P. y Saavedra, O. (2021). *Influencia de la adición de nanosílice en la permeabilidad del concreto*. VÉRITAS, 21(1), 29-38. <https://doi.org/10.35286/veritas.v22i1.292>

González, J. (2016). *Nanotecnología y concreto*. *Revista Construcción y Tecnología en Concreto*, 6(2), 16-19. <http://www.imcyc.com/images/MAYO%202016.pdf>

Instituto Nacional de Calidad. (2001). *NTP 400.011: Agregados. Definición y clasificación*. Instituto Nacional de Calidad.

International Research Journal on Advanced Engineering Hub (IRJAEH). (2024). *Experiment study on strength of concrete using nanosilica*. Internet Archive. <https://doi.org/10.47392/IRJAEH.2024.0011>

Jiménez, R. (2022). *Efecto de la incorporación de nanosílice para un concreto*

antideslave $f'c = 280$ kg/cm² aplicado a cimentaciones profundas con alto nivel freático. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4954>

Khan, K., Ahmad, W., Amin, M. N., y Nazar, S. (2022). *Nano-Silica-Modified Concrete: A Bibliographic Analysis and Comprehensive Review of Material Properties. Nanomaterials*, 12(1989). <https://doi.org/10.3390/nano12121989>

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., y Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto. Portland Cement Association.* <https://ingenierosciviles.com.mx/Biblioteca/files/original/4e03b9ddedc81f98353a2e65478f0c50.pdf>

Loaiza, L., Díaz, E., y Rojas, M. (2019). *Nanosílice como aditivo para el concreto - caso Colombia.* Congreso IBRACON de la Industria del Concreto, 2019. https://www.researchgate.net/publication/341600696_Nanosilice_como_aditivo_para_el_concreto_-_caso_Colombia

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones.* Plataforma del Estado Peruano.

Osorio, K. (2019). *Influencia del nanosílice en la durabilidad del concreto sometido a las reacciones químicas de sulfatos en la zona costera de la Avenida 2 de Mayo distrito de Ancón, Lima.* Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48775>

Pandiaraj K., y Vanitha, S. (2021). *Effect of nano silica on the properties of concrete and mortar – A state of art. International Review of Applied Sciences and Engineering*, 13(1). <https://doi.org/10.1556/1848.2021.00309>

Pérez A. (2021). Optimización de la permeabilized del concreto ecológico con adición de nanosílice y fibra de polipropileno. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2993>

Saavedra O. (2019). *Análisis de la influencia de la nanosílice en la resistencia y costo de producción de concretos convencionales elaborados con cementos Yura Tipo I y IP en la ciudad de Arequipa*. Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9610>

Saleem, H., Zaidi, S., Alnuaimi, N. (2021). *Recent advancements in the nanomaterial application in concrete and its ecological impact*. *Materials*, 14(21), 6387. <https://doi.org/10.3390/ma14216387>

Sika. (2020). *Sikacrete® NT: Nanosílice en suspensión acuosa*. https://chl.sika.com/dms/getdocument.get/7bf0ee0b-c966-49ff-9946-abd7bb4dbadf/sikacrete_nt.pdf

Téllez Girón, E., Martín Acosta, A. ..., Pérez Hernández, A., y Verdecia Rodríguez, U. (2012). *Reología, comportamiento físico-mecánicos y de durabilidad de hormigones con nanosílice*. *Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 2(2), 85-92. Ulmen. (2020). Ulmen y los aditivos nanotecnológicos. <https://ulmen.cl/ulmen-y-los-aditivos-nanotecnologicos/>

Zanon, T., Schmalz, R., y Ferreira, F. (2018). *Evaluación de los efectos del nanosílice en hormigones sometidos a la acción de iones cloruros*. *Revista ALCONPAT*. <https://doi.org/10.21041/ra.v8i2.274>

ANEXOS

Los documentos complementarios presentados a continuación respaldan y detallan los aspectos metodológicos, instrumentales y de resultados de esta investigación. Los anexos respaldan la calidad, precisión y transparencia del trabajo experimental realizado en el laboratorio.

- **Matriz de Consistencia:** Presenta la coherencia entre los diferentes elementos de la investigación, asegurando que los objetivos, preguntas de investigación, hipótesis y metodología estén alineados. Detalla cómo cada aspecto de la investigación se relaciona y contribuye al logro de los objetivos generales y específicos. Instrumento de Recolección: cuestionario, guía de entrevista, formulario de observación u otro instrumento desarrollado para la recolección de datos. Incluye los detalles de la estructura, los tipos de preguntas y el enfoque metodológico aplicado que permitieron captar los datos pertinentes a los objetivos.
- **Informe de Validación de Expertos:** un informe detallado de la validación de los instrumentos de recolección se realizó con tres expertos en el área con estudios avanzados (maestría y doctorado). Esto implica una evaluación sobre si el instrumento a muestrear contenía validez de contenido, claridad, pertinencia y aplicabilidad. Permite evaluar la representatividad de los datos recolectados y el cumplimiento de los estándares científicos.
- **Matriz de Operación de Variables:** el documento describe la descomposición y la operacionalización de las variables. Se deben escribir la definición conceptual y operacional de cada variable, los indicadores a utilizar y sus valores esperados. Un documento clave para comprender cómo se miden las variables y se aplican experimentalmente.

- **Certificados de Calidad de los Resultados de Laboratorio:** son documentos emitidos por los laboratorios que certifican la calidad y exactitud de los resultados. Los certificados garantizan que los procedimientos y análisis cumplen con los procedimientos de calidad y confirman la fiabilidad de los datos y resultados.
- **Certificados de Calibración de Instrumentos de Laboratorio:** son certificados oficiales que validan la calibración de los instrumentos de laboratorio utilizados en la investigación. La calibración garantiza la precisión y reproducibilidad de las mediciones y resultados, disminuyendo la posibilidad de errores en los datos.
- **Certificados de Calidad de los Resultados de Laboratorio:** son documentos emitidos por los laboratorios que certifican la calidad y exactitud de los resultados. Los certificados garantizan que los procedimientos y análisis cumplen con los procedimientos de calidad y confirman la fiabilidad de los datos y resultados.
- **Panel Fotográfico:** conjunto de fotografías que documentan visualmente cada etapa clave del trabajo experimental en el laboratorio. Comprende imágenes de los procedimientos, los equipos y los resultados parciales que brindan evidencia visual al estudio.

ANEXO N° 1: Matriz de Consistencia

Tabla 50

Matriz de Consistencia

Problema General:	Objetivo General:	Objetivos Especificos:	Hipótesis General:	Hipótesis Especificas:	VARIABLES	Indicadores para V.:	Metodología:	Población y Muestra:
¿Cuál es el efecto del análisis comparativo de la nanosílice en la resistencia y durabilidad del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024?	Comparar el efecto de la nanosílice en la resistencia y durabilidad del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024.	<p>OE1: Evaluar el efecto de la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con adiciones de nanosílice en mezclas con cemento Tipo I y compararlas con el cemento Tipo V antisalitre sin nanosílice.</p> <p>OE2: Analizar la porosidad del concreto con cemento Tipo I modificado con nanosílice y compararlo con el cemento Tipo V antisalitre sin esta adición, para identificar la eficacia en la reducción de la penetración de agentes agresivos.</p> <p>OE3: Evaluar la resistencia a compresión de muestras de concreto</p>	La adición de nanopartículas de dióxido de silicio (nanosílice) en el concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I puede mejorar significativamente su resistencia y durabilidad ante la exposición a sulfatos, alcanzando un desempeño comparable o similar al concreto con cemento Tipo V antisalitre sin esta adición en Cajabamba, Cajamarca.	<p>HE1: La incorporación de nanosílice incrementará la resistencia a la compresión del concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I en mayor medida que el cemento Tipo V antisalitre sin nanosílice.</p> <p>HE2: La absorción del concreto con cemento Tipo I y nanosílice será significativamente menor, superando a la del concreto con cemento Tipo V antisalitre sin adición.</p> <p>HE3: : La incorporación de nanosílice influye significativamente en la pérdida de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a un ataque severo de sulfatos</p>	<p>Independiente 1. Incorporación de nanosílice (1%, 1.5%, 2%) en el concreto.</p> <p>Dependiente</p> <p>Resistencia y durabilidad del concreto:</p> <p>1. resistencia a compresión</p> <p>2. Absorción</p> <p>3. resistencia a compresión de muestras sumergidas a sulfatos</p>	<p>Concentración de nanosílice (1%, 1.5%, 2%).</p> <p>Resistencia a la compresión (kg/cm^2).</p> <p>Resistencia a la tracción (kg/cm^2).</p> <p>Absorción ($\text{mm/s}^{1/2}$)</p>	<p>Cuantitativa, cuasiexperimental.</p> <p>Diseño: Pruebas con diferentes concentraciones de nanosílice en muestras de concreto, comparando con cemento Tipo V antisalitre sin adición.</p> <p>Instrumentos: Prensa de compresión, cámara de exposición a sulfatos, balanza para los pesos de las muestras sumergidas en pruebas de succión capilar, horno para obtener la</p>	<p>Probetas de concreto con cemento Tipo I y Tipo V antisalitre.</p> <p>Muestra: 124 probetas de 100 mm x 200 mm</p>

<p>elaboradas con cemento tipo I con adiciones de nanosílice, sometidas a un ataque severo de sulfatos con una concentración de 9999 ppm, y compararlas con la resistencia de muestras elaboradas con cemento tipo V, diseñado para resistir ataques severos de sulfatos.</p>	<p>concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Tipo I .</p>	<p>absorción.</p>
<p>OE4: Evaluar el costo-beneficio de la incorporación de nanosílice en el concreto con cemento Tipo I como alternativa al cemento Tipo V antisalitre, analizando el costo y su impacto en la resistencia a la compresión, la durabilidad y la reducción de costos, para determinar su viabilidad en aplicaciones constructivas.</p>	<p>HE4: La incorporación de nanosílice en el concreto con cemento Tipo I ofrece un mejor costo-beneficio en comparación con el uso de cemento Tipo V antisalitre, al mantener una durabilidad adecuada, mejorar la resistencia a la compresión y reducir los costos de producción.</p>	<p>Control (C1): Tipo de cemento (Tipo I y V antisalitre).</p>
	<p>3.</p>	<p>Técnicas: Observación experimental de los resultados de las pruebas realizadas.</p>

Nota. En esta tabla se especifican la alineación entre los objetivos, hipótesis, variables y metodología, garantizando que todas las partes del estudio estén conectadas correctamente para lograr la validez del proceso investigativo.

ANEXO N° 2. Instrumentos de recolección de datos

Figura 18

Guía de Observación

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo" según el decreto del gobierno peruano"

Escuela Profesional de: Ingeniería Civil

Marca lo datos de cada muestra a recolectar, tipo de cemento, si contiene adiciones de nanosílice o no y su porcentajes:

RECOLECCIÓN DE DATOS PARA PROBETA DE CEMENTO TIPO.....(CON/SIN) ADICIÓN....PORCENTAJE.(1%) (1.5%) (3%)




GUIA DE OBSERVACION

PROYECTO	Análisis comparativo del efecto de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm ² con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024						
TESISTA	Jhon Deyvis, Vargas Avila	N° Matricula: n00155622					
OBJETIVO	Recolectar y analizar datos precisos sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto con nanosílice, asegurando el cumplimiento de estándares técnicos y facilitando la evaluación de su comportamiento bajo diferentes condiciones de ensayo.						
OBJETIVO DE ESTUDIO	Comparar el efecto de la nanosílice en la resistencia y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm ² con cemento Tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024.						
AREA DE OBSERVACION	Laboratorio de Concretos CECAPED						

Aspecto a Observar	Instrumentos	Escala	Normativas	Cumple		Valores Obtenidos		
						7 días	14 días	28 días
1. Diseño de la Mezcla	Planilla de dosificación	Kg de materiales por m ³ de concreto	Según la ACI 211	SI	NO			
2. Asentamiento	Cono de Abrams	Centímetros (cm)	ASTM C143/C143M	SI	NO			
3. Peso Unitario	Báscula	Kg/m ³	ASTM C138/C138M	SI	NO			
4. Resistencia a la Compresión	Prensa de compresión	Kg/cm ²	ASTM C39/C39M	SI	NO			
5. Resistencia a la Tracción	Máquina de tracción indirecta	Kg/cm ²	ASTM C496/C496M	SI	NO			
6. Permeabilidad del Concreto	Equipo de permeabilidad	m/s	Según norma ASTM D5084	SI	NO			
Resistencia a Sulfatos						14 días	28 días	42 días
7. Pérdida de Masa por Sulfatos	Balanza de precisión	Porcentaje (%)	ASTM C1012/C1012M	SI	NO			
8. Porosidad Abierta del Concreto	Porosímetro o equipo de absorción de agua	Porcentaje (%)	Según norma ASTM C642	SI	NO			
9. Resistencia a la Compresión, de muestra expuesta a sulfatos	Cámara de exposición a sulfatos, balanza	Porcentaje de masa perdida	ASTM C1012/C1012M	SI	NO			
10. Relación Costo-Beneficio del Uso de Nanosílice	Planilla de costos, registros de mantenimiento	Porcentaje (%) o Soles	Reducción de costos >10%	SI	NO			
11. Validación de Instrumentos	Certificados de calibración	Conforme a norma técnica	Instrumentos calibrados según la ISO/IEC 17025	SI	NO			

SUGERENCIAS

INSTRUMENTOS VALIDADO POR:



Dr. Félix Germán Delgado Ramírez
Colegio de Ingenieros del Perú N° 40609



R. Alexis Miranda Rucoba
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 238713



VICTOR MIGUEL TURIANSKY UCEDA
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 144008

Nota. En esta figura se muestra la Guía de observación validada para la recolección de datos


ANEXO N° 3: Validación de Instrumento por expertos

- Primer experto

Figura 19

Ficha de Evaluación del Primer Experto

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo" según el decreto del gobierno peruano"
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS


PROYECTO	Análisis comparativo del efecto de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm ² con cemento tipo I y V antialitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024	
TESISTA	Jhon Deyvis Vargas Avila	N° Matricula: n00155622
LINEA DE INVESTIGACION	Tecnologías emergentes	
APELLIDOS Y NOMBRE DEL EXPERTO	Félix Germán Delgado Ramírez	
MEDICION ESTA RELACIONADO CON LAS	Incorporación de nanosílice, resistencia y durabilidad del concreto	

Mediante esta matriz de evaluación, usted puede valorar cada pregunta marcando con una "x" en Sí o NO. Le invitamos a corregir los ítems y añadir observaciones o sugerencias para mejorar la medición de la variable estudiada.

ITEM	PREGUNTA	CRITERIO	OBSERVACIONES
1	¿El diseño del instrumento de medición es adecuado para cumplir con los objetivos propuestos?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
2	¿Existe una coherencia entre el instrumento de recolección de datos y el título de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
3	¿El instrumento de recolección de datos hace referencia explícita a las variables centrales de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
4	¿Este instrumento contribuye de manera efectiva al logro de los objetivos planteados en la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
5	¿Se observa una clara relación entre el instrumento de recolección de datos y las variables que se están estudiando?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
6	¿Cada ítem del instrumento de medición está alineado con los componentes específicos de los indicadores definidos?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
7	¿El diseño del instrumento facilita el análisis y procesamiento de los datos obtenidos?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
8	¿El instrumento es accesible y comprensible para la población que forma parte del estudio?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
9	¿El instrumento de medición es lo suficientemente claro, preciso y sencillo para garantizar la obtención de los datos requeridos sin ambigüedades?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
10	¿El instrumento de recolección de datos permite capturar con precisión la variabilidad en los resultados experimentales, garantizando su validez en condiciones de laboratorio?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	
11	¿El formato y la estructura del instrumento de medición facilitan su aplicación práctica y aseguran una recolección eficiente de los datos?	<input checked="" type="checkbox"/> NO	

SUGERENCIAS

FIRMA DE EXPERTO:




Dr. Félix Germán Delgado Ramírez
Colegio de Ingenieros del Perú N° 40609

Nota. En esta figura se muestra la calificación de primer experto, el Dr. Felix Delgado Ramírez, según su criterio

- **Ficha de Validación del Experto**

Tabla 51

Ficha de Validación del Primer Experto

Campo	Detalle
Nombre del instrumento	Guía de observación para medir la variable Escritura Emergente
Nombres y apellidos del experto	Félix Germán Delgado Ramírez
Documento de identidad	22264222
Años de experiencia laboral	Más de 10 años
Máximo grado académico	Doctor
Nacionalidad	Peruana
Institución laboral	Top World Eng. S.A.C.
Labor que desempeña	Gerente
Número telefónico	
Correo electrónico	Fdelgadoramirez22@gmail.com
Firma	 ----- Dr. Félix Germán Delgado Ramírez Colegio de Ingenieros del Perú N° 40609
Fecha	14/10/2024

Nota. Datos del experto, Dr. Félix Germán Delgado Ramírez, quien validó la guía de observación sobre Escritura Emergente, incluyendo su experiencia y formación académico

- **Registro de Grados Académicos del Dr. Félix Germán Delgado Ramírez**

Figura 20

Ficha SUNEDU del Primer Experto

Graduado	Grado o Título	Institución
DELGADO RAMIREZ, FELIX GERMAN DNI 22264222	MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL Fecha de diploma: 29/02/2012 Modalidad de estudios: - Fecha matrícula: Sin información (***) Fecha egreso: Sin información (***)	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ <i>PERU</i>
DELGADO RAMIREZ, FELIX GERMAN DNI 22264222	INGENIERO CIVIL Fecha de diploma: 19/08/1991 Modalidad de estudios: -	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA <i>PERU</i>
DELGADO RAMIREZ, FÉLIX GERMÁN DNI 22264222	BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL Fecha de diploma: 17/08/90 Modalidad de estudios: PRESENCIAL Fecha matrícula: 15/08/1980 Fecha egreso: 25/05/1990	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA DE ICA <i>PERU</i>
DELGADO RAMIREZ, FELIX GERMAN DNI 22264222	DOCTOR EN GESTIÓN PÚBLICA Y GOBERNABILIDAD Fecha de diploma: 20/07/20 Modalidad de estudios: PRESENCIAL Fecha matrícula: 04/01/2017 Fecha egreso: 19/01/2020	UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO S.A.C. <i>PERU</i>

Nota. La figura presenta el registro de los grados académicos de Félix Germán Delgado Ramírez, que incluye títulos como Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Magíster e Ingeniero Civil.


- Segundo Experto

Figura 21

Ficha de Evaluación del Segundo Experto

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo" según el decreto del gobierno peruano"

Escuela Profesional de: Ingeniería Civil



MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS

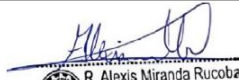
PROYECTO	Análisis comparativo del efecto de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm ² con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024		
TESISTA	Jhon Deyvis, Vargas Avila	N° Matricula: n00155622	
LINEA DE INVESTIGACION	Tecnologías emergentes		
APELLIDOS Y NOMBRE DEL EXPERTO	Ricard Alexis Miranda Rucoba		
MEDICIÓN ESTÁ RELACIONADO CON LAS	Incorporación de nanosílice, resistencia y durabilidad del concreto		

Mediante esta matriz de evaluación, usted puede valorar cada pregunta marcando con una "X" en SÍ o NO. Le invitamos a corregir los ítems y añadir observaciones o sugerencias para mejorar la medición de la variable estudiada.

ITEM	PREGUNTA	CRITERIO		OBSERVACIONES
1	¿El diseño del instrumento de medición es adecuado para cumplir con los objetivos propuestos?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
2	¿Existe una coherencia entre el instrumento de recolección de datos y el título de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
3	¿El instrumento de recolección de datos hace referencia explícita a las variables centrales de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
4	¿Este instrumento contribuye de manera efectiva al logro de los objetivos planteados en la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
5	¿Se observa una clara relación entre el instrumento de recolección de datos y las variables que se están estudiando?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
6	¿Cada ítem del instrumento de medición está alineado con los componentes específicos de los indicadores definidos?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
7	¿El diseño del instrumento facilita el análisis y procesamiento de los datos obtenidos?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
8	¿El instrumento es accesible y comprensible para la población que forma parte del estudio?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
9	¿El instrumento de medición es lo suficientemente claro, preciso y sencillo para garantizar la obtención de los datos requeridos sin ambigüedades?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
10	¿El instrumento de recolección de datos permite capturar con precisión la variabilidad en los resultados experimentales, garantizando su validez en condiciones de laboratorio?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	
11	¿El formato y la estructura del instrumento de medición facilitan su aplicación práctica y aseguran una recolección eficiente de los datos?	<input checked="" type="checkbox"/>	NO	

SUGERENCIAS

FIRMA DE EXPERTO:



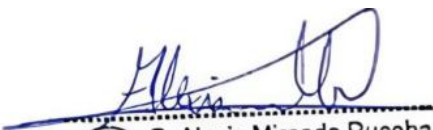
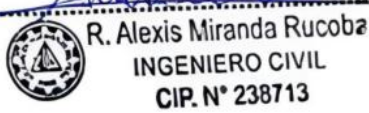
R. Alexis Miranda Rucoba
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 238713

Nota. Información sobre el Mg. R. Alexis Miranda Recoba, experto que validó la guía de observación sobre Escritura Emergente, con detalles de su experiencia y estudios.

- **Ficha de Validación del Experto**

Tabla 52

Ficha de Validación del Segundo Experto

Campo	Detalle
Nombre del instrumento	Cuestionario para medir la variable Escritura Emergente
Nombres y apellidos del experto	Ricard Alexis Miranda Rucoba
Documento de identidad	77529831
Años de experiencia laboral	Más de 5 años
Máximo grado académico	Magíster
Nacionalidad	Peruana
Institución laboral	Independiente
Labor que desempeña	Ingeniero Civil
Número telefónico	
Correo electrónico	alexismr18.3@gmail.com
Firma	 
Fecha	14/10/2024

Nota. Datos del experto, Mg. Ricard Alexis Miranda Rucoba, quien validó la guía de observación sobre Escritura Emergente, incluyendo su experiencia y formación académico.

- **Registro de Grados Académicos del Mg. Ricard Alexis Miranda Rucoba**

Figura 22

Ficha SUNEDU del Segundo Experto

Graduado	Grado o Título	Institución
MIRANDA RUCOBA, RICHARD ALEXIS DNI 77529831	BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL Fecha de diploma: 15/04/19 Modalidad de estudios: PRESENCIAL Fecha matrícula: 14/01/2014 Fecha egreso: 22/12/2018	UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO S.A.C. PERU
MIRANDA RUCOBA, RICHARD ALEXIS DNI 77529831	INGENIERO CIVIL Fecha de diploma: 20/09/19 Modalidad de estudios: PRESENCIAL	UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO S.A.C. PERU
MIRANDA RUCOBA, RICHARD ALEXIS DNI 77529831	MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN DIRECCIÓN DE EMPRESAS DE LA CONSTRUCCIÓN Fecha de diploma: 13/06/22 Modalidad de estudios: PRESENCIAL Fecha matrícula: 31/08/2020 Fecha egreso: 27/01/2022	UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO S.A.C. PERU

Nota. La figura presenta el registro de los grados académicos de Ricard Alexis Miranda Rucoba, que incluye títulos como Magister en ingeniería Civil con mediciones en dirección de empresas en la construcción.


- Tercer experto

Figura 23

Ficha de Evaluación del Tercer Experto

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo" según el decreto del gobierno peruano"

Escuela Profesional de: Ingeniería Civil



MATRIZ PARA EVALUACION DE EXPERTOS


PROYECTO	Análisis comparativo del efecto de la nanosílice en la resistencia, y durabilidad del concreto $f'c = 280$ kg/cm ² con cemento tipo I y V antisalitre en Cajabamba, Cajamarca, 2024	
TESISTA	Jhon Deyvis, Vargas Avila	N° Matricula: n00155622
LINEA DE INVESTIGACION	Tecnologías emergentes	
APELLIDOS Y NOMBRE DEL EXPERTO	Victor Miguel Tullume Uceda	
MEDICIÓN ESTA RELACIONADO CON LAS	Incorporación de nanosílice, resistencia y durabilidad del concreto	

Mediante esta matriz de evaluación, usted puede valorar cada pregunta marcando con una "x" en SÍ o NO. Le invitamos a corregir los ítems y añadir observaciones o sugerencias para mejorar la medición de la variable estudiada.

ITEM	PREGUNTA	CRITERIO	OBSERVACIONES
1	¿El diseño del instrumento de medición es adecuado para cumplir con los objetivos propuestos?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
2	¿Existe una coherencia entre el instrumento de recolección de datos y el título de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
3	¿El instrumento de recolección de datos hace referencia explícita a las variables centrales de la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
4	¿Este instrumento contribuye de manera efectiva al logro de los objetivos planteados en la investigación?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
5	¿Se observa una clara relación entre el instrumento de recolección de datos y las variables que se están estudiando?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
6	¿Cada ítem del instrumento de medición está alineado con los componentes específicos de los indicadores definidos?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
7	¿El diseño del instrumento facilita el análisis y procesamiento de los datos obtenidos?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
8	¿El instrumento es accesible y comprensible para la población que forma parte del estudio?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
9	¿El instrumento de medición es lo suficientemente claro, preciso y sencillo para garantizar la obtención de los datos requeridos sin ambigüedades?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
10	¿El instrumento de recolección de datos permite capturar con precisión la variabilidad en los resultados experimentales, garantizando su validez en condiciones de laboratorio?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	
11	¿El formato y la estructura del instrumento de medición facilitan su aplicación práctica y aseguran una recolección eficiente de los datos?	<input checked="" type="checkbox"/> SÍ <input type="checkbox"/> NO	

SUGERENCIAS

FIRMA DE EXPERTO:




VICTOR MIGUEL TULLUME UCEDA
NÚMERO CMI
ED. C.M. N° 148092

Nota. Información sobre el Mg. Víctor Miguel Tullume Uceda, experto que validó la guía de observación sobre Escritura Emergente, con detalles de su experiencia y estudios.

- **Ficha de Validación del Experto**

Tabla 53

Ficha de Validación del Tercer Experto

Campo	Detalle
Nombre del instrumento	Guía de observación para medir la variable Escritura Emergente
Nombres y apellidos del experto	Víctor Miguel Tullume Uceda
Documento de identidad	45388752
Años de experiencia laboral	Más de 10 años
Máximo grado académico	Maestro
Nacionalidad	Peruana
Institución laboral	Empresa de edificaciones e inmobiliarias
Labor que desempeña	Ingeniero residente en obra
Número telefónico	987419137
Correo electrónico	
Firma	
Fecha	14/10/2024

Nota. Datos del experto, Mg. Víctor Miguel Tullume Uceda, quien validó la guía de observación sobre Escritura Emergente, incluyendo su experiencia y formación académico.

- **Registro de Grados Académicos del Mg. Víctor Miguel Tullume Uceda**

Figura 24

Ficha de Validación del Tercer Experto

Graduado	Grado o Título	Institución
TULLUME UCEDA, VICTOR MIGUEL DNI 45388752	INGENIERO CIVIL Fecha de diploma: 30/11/2012 Modalidad de estudios: -	UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C. <i>PERU</i>
TULLUME UCEDA, VICTOR MIGUEL DNI 45388752	BACHILLER EN INGENIERIA CIVIL Fecha de diploma: 30/03/2012 Modalidad de estudios: - Fecha matrícula: Sin información (***) Fecha egreso: Sin información (***)	UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C. <i>PERU</i>
TULLUME UCEDA, VICTOR MIGUEL DNI 45388752	Maestro en Dirección de la Construcción Fecha de diploma: 26/02/21 Modalidad de estudios: PRESENCIAL Fecha matrícula: 22/05/2017 Fecha egreso: 12/09/2018	UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS S.A.C. <i>PERU</i>

Nota. La figura presenta el registro de los grados académicos de Víctor Miguel Tullume Uceda, que incluye títulos como Magister en ingeniería Civil en dirección de la construcción.

ANEXO N° 4: Matriz de operación de variables

Tabla 54

Matriz de Operación de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Items	Instrumentos	Escala de medición
Método de incorporación de nanosílice	Se refiere al procedimiento específico mediante el cual se añade nanosílice a la mezcla de concreto. Esto puede incluir técnicas como la adición directa de una solución bacteriana, la mezcla con un agente portador o la inclusión en polvo en los ingredientes secos.	El objetivo es garantizar una distribución uniforme del aditivo (nanosílice) en la mezcla para evaluar su impacto en las propiedades del concreto. La definición operacional incluirá la técnica utilizada, las cantidades exactas y el momento de adición en el proceso de mezcla.	Tipo de método Cantidad de aditivo Momento de Adición	Uniformidad de Distribución Eficiencia de Incorporación Homogeneidad de la Mezcla	1,2,3,4,5,6	Mezclador de Concreto Balanza de Precisión Probetas	Razón
Resistencia a la compresión del concreto	La resistencia a la compresión del concreto se define como la capacidad del concreto para soportar fuerzas de compresión sin fallar, medida como la carga máxima soportada por una muestra de concreto de dimensiones estándar	Esta resistencia se evalúa mediante ensayos de compresión en cilindros o cubos de concreto curados, aplicando una carga axial hasta que el concreto se quiebre y midiendo la carga máxima alcanzada	Unidades de medida Tamaño de la Muestra Edad del concreto	Carga Máxima Aplicada Resistencia a la compresión Módulo de Rotura	1,2,3,4,5,6	Prensa de compresión Calibrador de carga Probetas Equipo de curado	Razón

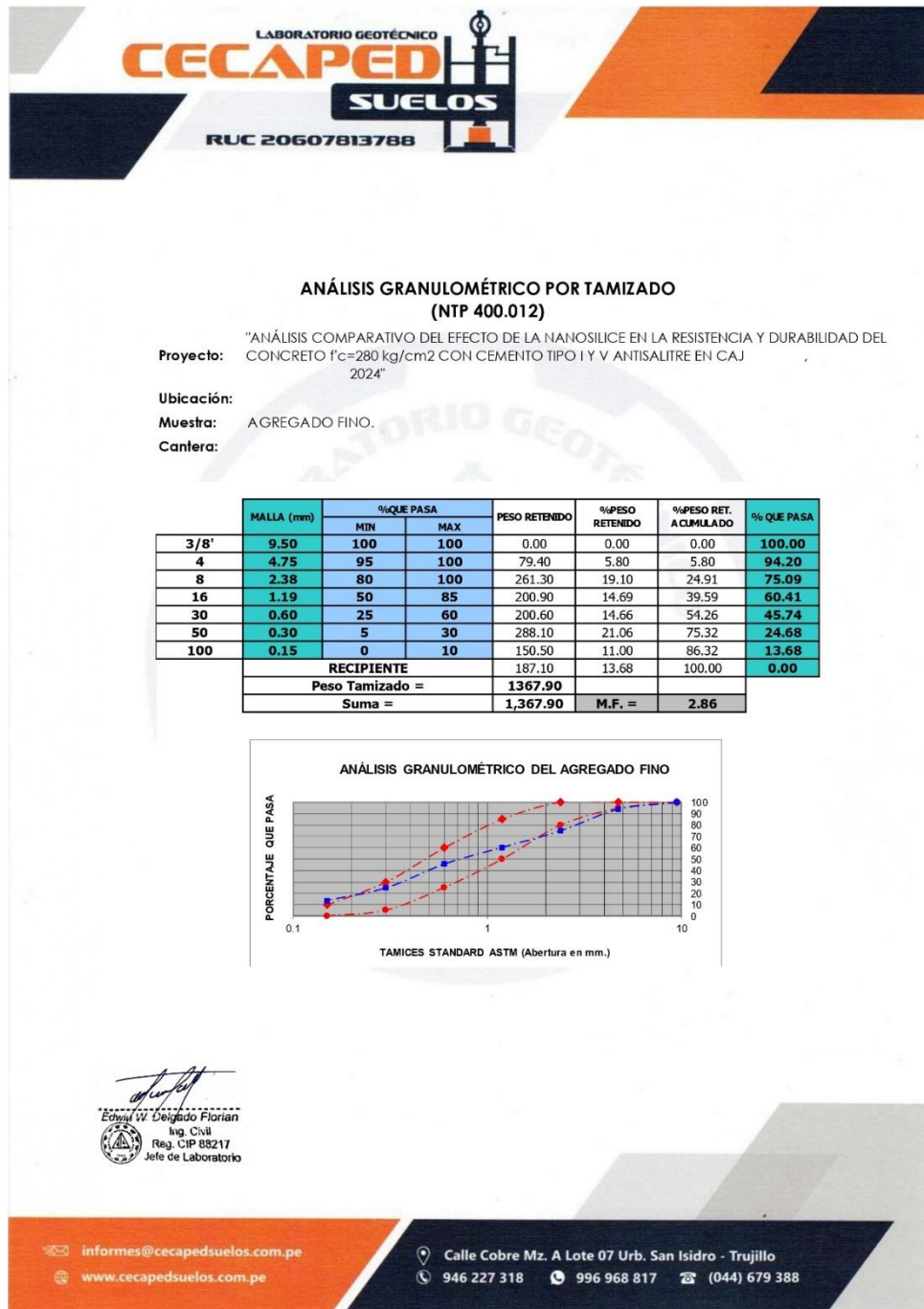
	hasta el punto de ruptura.							
Resistencia sulfatos	La resistencia a sulfatos es la capacidad del concreto para conservar sus propiedades mecánicas y durabilidad al ser expuesto a ambientes con sulfatos que pueden causar deterioro.	La resistencia a sulfatos se medirá a través de la pérdida de resistencia a compresión de las muestras tras su inmersión en una solución de sulfatos de 9999 ppm, comparando los resultados con muestras de control.	Unidades de medida Tamaño de la muestra Condiciones de Ensayo	Reducción de resistencia a la compresión (%)	1,2,3,4,5,6	Prensa hidráulica para ensayos de compresión Balanza de precisión Cámaras de exposición a sulfatos (soluciones de sulfato controladas) Regla Vernier o calibrador para medir expansión	Razón	
Absorción del concreto	Capacidad del concreto para absorber agua en sus poros y medir la velocidad de absorción con el tiempo.	Se medirá la cantidad de agua absorbida por las muestras de concreto a lo largo de un tiempo determinado, expresada en términos de (mm/ s ^{1/2})	Velocidad de absorción Porosidad Capacidad de absorción	Coefficiente de absorción Incremento de masa	1,2,3	Balanza de precisión, Recipiente de inmersión, Cronómetro	Razón	

Nota. En esta tabla se especifican las variables, dimensiones e indicadores que permiten operacionalizar el estudio, definiendo los métodos de medición y técnicas para la recolección de datos.

ANEXO N° 5: Certificados de Calidad obtenidos de laboratorio

Figura 25

Certificado del Análisis Granulométrico del Agregado Fino

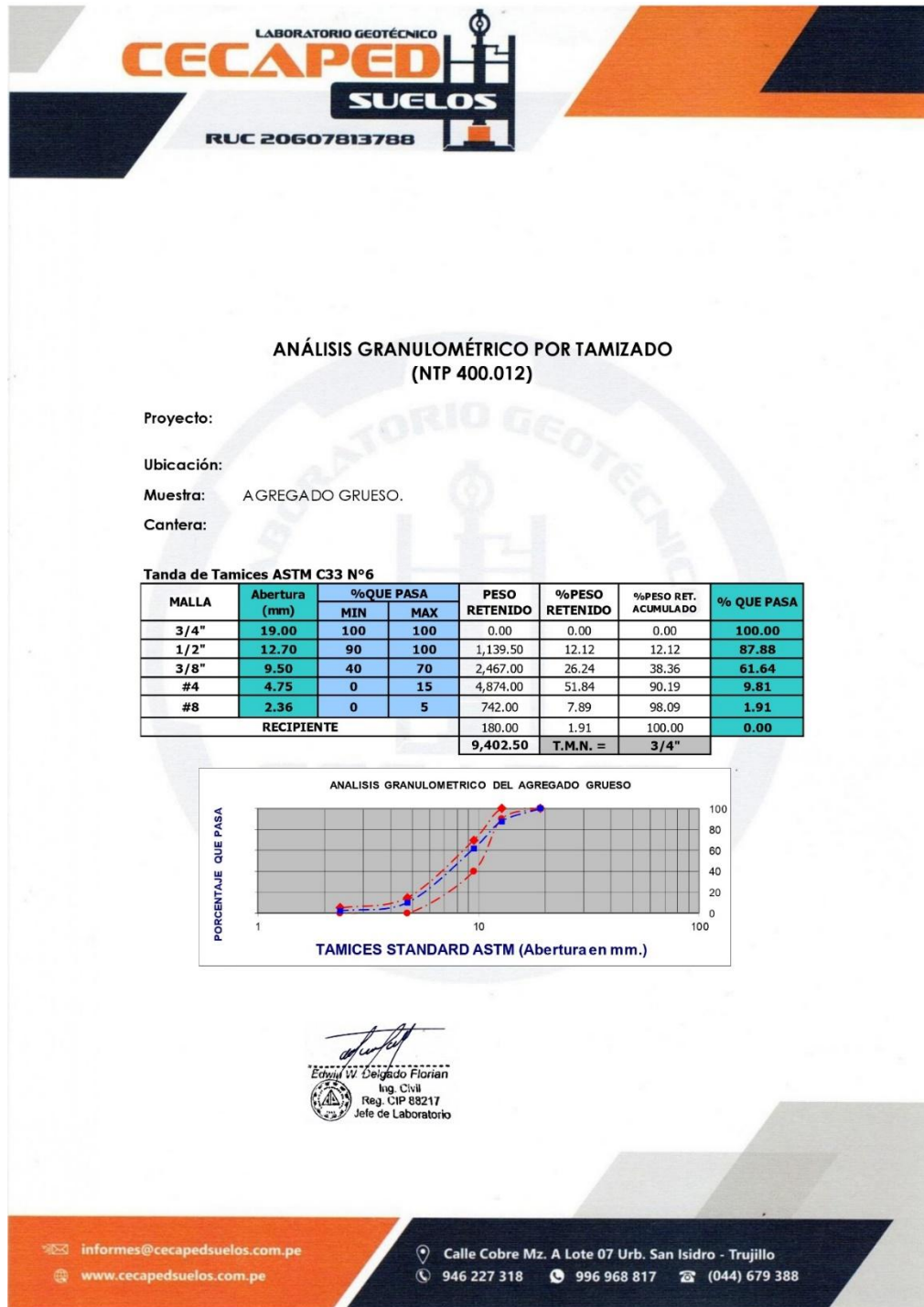


Nota. En esta figura se muestra el análisis granulométrico del agregado fino, Según la NTP

400.12

Figura 26

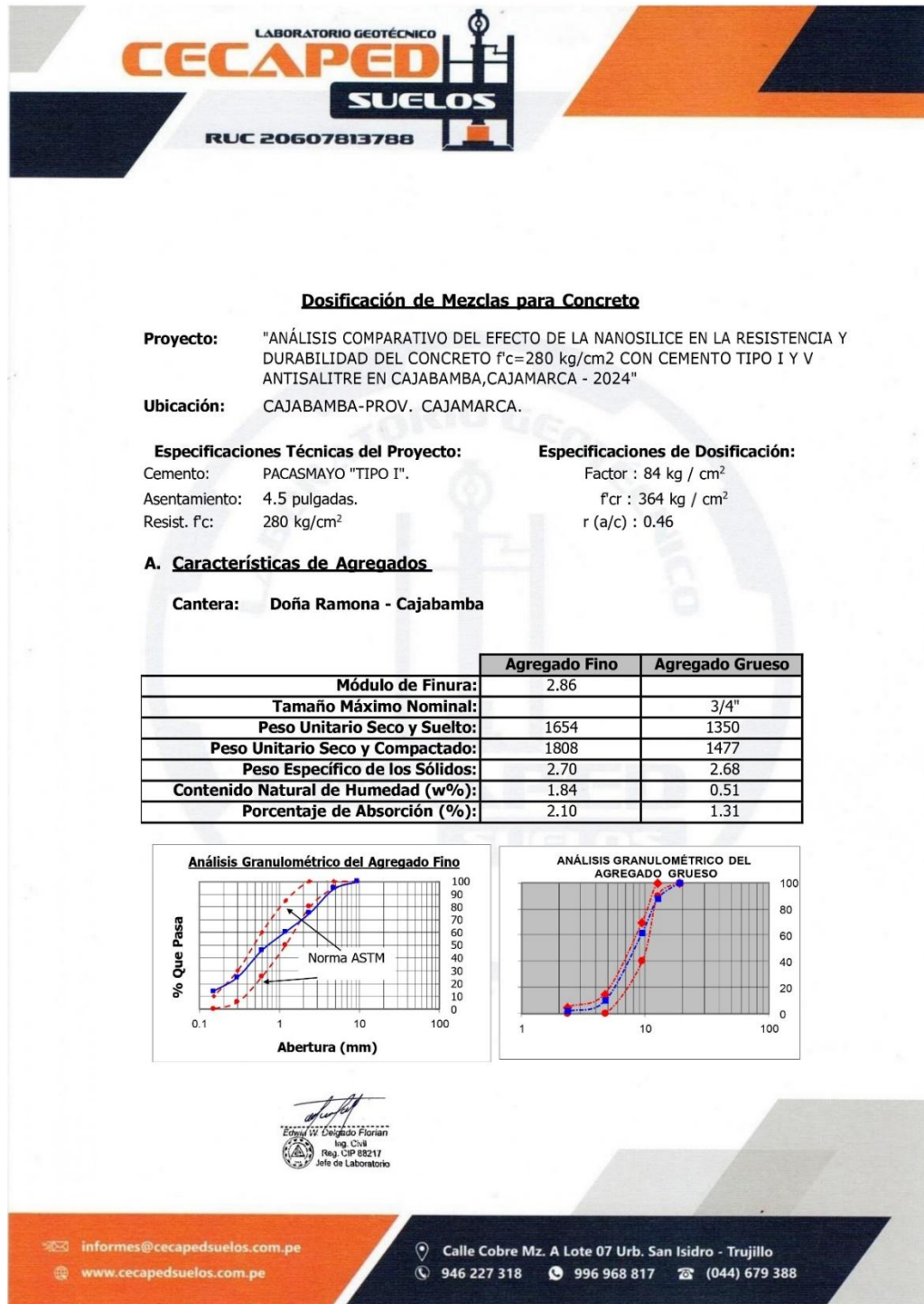
Certificado del Análisis Granulométrico del Agregado Grueso



Nota. En esta figura se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso, Según la NTP 400.12

Figura 27

Certificado de Caracterización de Agregados



Nota. En esta figura se muestra la especificación técnica del proyecto, la caracterización de Agregados y las curvas granulométricas de los agregados

Figura 28

Certificado del Diseño de Mezcla

LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Lugar: Distrito C m , P C m c

B. Materiales por m³

Materiales	Peso Seco (kg/m ³)	Peso Húmedo (kg/m ³)	Volumen Resultante (m ³)	Proporción en Obra
				Dosificación Recomendada en Volumen (m ³)
Cemento	429.18	429.18	0.283	1.00
Agregado Fino	810.61	825.54	0.499	1.80
Agregado Grueso	907.16	911.75	0.675	2.40
Agua de Mezcla	200.00	209.41	0.209	0.70

Dosificación Recomendada en Peso (Kg)
1.00
1.90
2.10
0.50

Resultados de Mezcla de Prueba

Asentamiento Obtenido

Edwyl W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra el asentamiento de Slum obtenido del diseño de mezcla.

Figura 29

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°055-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f_c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. de Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2024-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

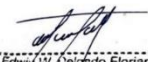
4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (Cemento Tipo V - Sin Aditivo)

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-001/24	01/10/2024	08/10/2024	79.17	19950	252	7
	MP-002/24	01/10/2024	08/10/2024	78.09	20145	258	7
	MP-003/24	01/10/2024	08/10/2024	81.05	19145	236	7

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edy W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio


informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra patrón a base de cemento tipo V a los 7 días de rotura.

Figura 30

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°051-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39


4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (Cemento Tipo V - Sin Aditivo)

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	15/10/2024	78.98	24736	278	14
2	MP-005/24	01/10/2024	15/10/2024	79.74	22806	286	14
3	MP-006/24	01/10/2024	15/10/2024	78.65	21769	284	14

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edna W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. U.P. 88217
Jefe de Laboratorio

informes@cecapedsuelos.com.pe

www.cecapedsuelos.com.pe


Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra patrón a base de cemento tipo V a los 14 días de rotura.

Figura 31

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°052-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (Cemento Tipo V- Sin Aditivo)

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-007/24	20/Oe/2024	29/10/2024	77.76	23172	298	28
2	MP-008/24	20/Oe/2024	29/10/2024	78.02	23484	301	28
3	MP-009/24	20/Oe/2024	29/10/2024	79.53	24177	304	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edy W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra patrón a base de cemento tipo V a los 28 días de rotura.

Figura 32

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°053-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRESA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C4-001/24	01/10/2024	15/10/2024	80.92	24357	301	7
2	C4-002/24	01/10/2024	15/10/2024	79.67	24299	305	7
3	C4-003/24	01/10/2024	15/10/2024	78.17	24076	308	7

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

informes@cecapedsuelos.com.pe

www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1% de nanosilice a los 7 días de rotura.

Figura 33

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°054-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS: **ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00%**

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C4-001/24	01/10/2024	29/10/2024	78.76	25811	335	14
2	C4-002/24	01/10/2024	29/10/2024	78.65	25967	333	14
3	C4-003/24	01/10/2024	29/10/2024	78.02	26513	340	14

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edgardo Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe

📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1% de nanosilice a los 14 días de rotura.

Figura 34

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°055-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**

MARCA: UTEST

MODELO: UTC-6231

NUMERO DE SERIE: 18/002118

FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C4-001/24	01/10/2024	29/10/2024	78.76	22052	335	28
2	C4-002/24	01/10/2024	29/10/2024	78.65	21865	342	28
3	C4-003/24	01/10/2024	29/10/2024	78.02	21221	340	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Eder V. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1% de nanosilíce a los 28 días de rotura.

Figura 35

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°056-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39


4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.50%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C6-001/24	01/10/2024	15/10/2024	79.09	24676	312	7
2	C6-002/24	01/10/2024	15/10/2024	78.12	24607	315	7
3	C6-003/24	01/10/2024	15/10/2024	80.15	25488	318	7

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Enayda Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1.5% de nanosilice a los 7 días de rotura.

Figura 36

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°056-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRESA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39


4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.50%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C6-001/24	01/10/2024	15/10/2024	78.09	27019	346	14
2	C6-002/24	01/10/2024	15/10/2024	77.12	257503	339	14
3	C6-003/24	01/10/2024	15/10/2024	80.45	27675	344	14

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Eridani W. Delgado Fariari
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

📞 946 227 318 📠 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1.5% de nanosilice a los 14 días de rotura.

Figura 37

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°057-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca
Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04


3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS: **ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.50%**

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C6-001/24	01/10/2024	29/10/2024	78.12	28436	364	28
2	C6-002/24	01/10/2024	29/10/2024	79.74	29105	365	28
3	C6-003/24	01/10/2024	29/10/2024	78.45	28399	362	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio


✉ informes@cecapedsuelos.com.pe
🌐 www.cecapedsuelos.com.pe

📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
📞 946 227 318 📠 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 1.5% de nanosilice a los 28 días de rotura.

Figura 38

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°058-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39


4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 2.00%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C8-001/24	01/10/2024	15/10/2024	78.87	25160	319	7
2	C8-002/24	01/10/2024	15/10/2024	78.19	25099	321	7
3	C8-003/24	01/10/2024	15/10/2024	79.35	25233	318	7

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edgilio W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

📞 946 227 318 📠 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 2% de nanosilice a los 7 días de rotura.

Figura 39

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilice



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°059-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

6. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

7. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**

MARCA: UTEST

MODELO: UTC-6231

NUMERO DE SERIE: 18/002118

FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

8. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

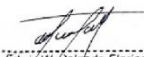
9. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 2.00%

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C8-001/24	01/10/2024	15/10/2024	78.87	27447	349	14
2	C8-002/24	01/10/2024	15/10/2024	78.19	27210	348	14
3	C8-003/24	01/10/2024	15/10/2024	79.35	27931	352	14

10. OBSERVACIONES:

2) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edyvis W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe


📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 2% de nanosilice a los 14 días de rotura.

Figura 40

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra a Base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°060-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. de Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04


3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS: **ADITIVO DE NANOSILICE AL 2.00%**

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	C8-001/24	01/10/2024	29/10/2024	77.98	28697	368	28
2	C8-002/24	01/10/2024	29/10/2024	79.38	28973	366	28
3	C8-003/24	01/10/2024	29/10/2024	79.15	28731	363	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante



Edson W. Delgado Fiorian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

✉ informes@cecapedsuelos.com.pe

🌐 www.cecapedsuelos.com.pe

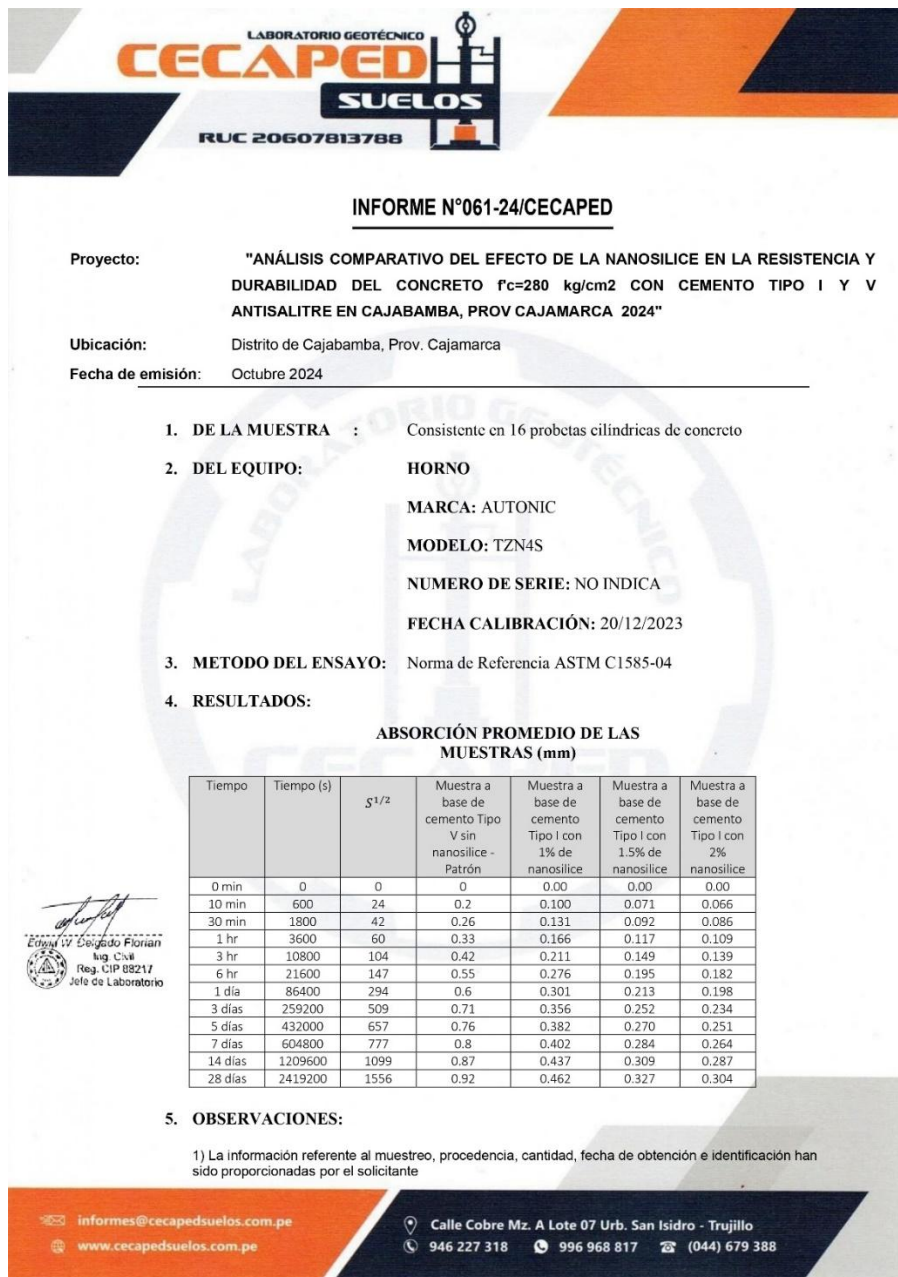
📍 Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo

☎ 946 227 318 📞 996 968 817 📠 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento tipo I más 2% de nanosilíce a los 14 días de rotura.

Figura 41

Certificado de Determinación de la Velocidad de Absorción de las diferentes muestras con y sin Nanosilice




Nota. En esta figura se muestra el resultado del ensayo de succión capilar para la obtención de la absorción promedio en el concreto de las diferentes muestras según la norma ASTM C1584-04.

Figura 42

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento

Tipo V sin Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°074-24/CECAPED

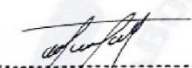
Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISULFATO EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 16 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **HORNO**
MARCA: AUTONIC
MODELO: TZN4S
NUMERO DE SERIE: NO INDICA
FECHA CALIBRACIÓN: 20/12/2023


Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia ASTM C1585-04

4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	22/10/2024	78.76	21817	275	7
2	MP-005/24	15/10/2024	22/10/2024	79.76	21934	276	7
3	MP-006/24	15/10/2024	22/10/2024	78.78	21901	275	7

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) SIN EXPOSICION A SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	22/10/2024	78.76	24416	277	21
2	MP-005/24	01/10/2024	22/10/2024	81.76	25100	275	21
3	MP-006/24	01/10/2024	22/10/2024	79.34	24745	278	21

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo V sin nanosílice a los 7 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 43

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo V sin Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°063-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	29/10/2024	80.76	23663	293	14
2	MP-005/24	15/10/2024	29/10/2024	79.56	23232	292	14
3	MP-006/24	15/10/2024	29/19/2024	78.78	23004	292	14

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) SIN EXPOSICIÓN A SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	29/10/2024	80.76	23824	295	28
2	MP-005/24	15/10/2024	29/10/2024	81.76	23874	292	28
3	MP-006/24	15/10/2024	29/19/2024	78.88	23348	296	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante


informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo V sin nanosílice a los 14 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 44

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo V sin Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°064-24/CECAPED


Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'_c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **HORNO**
MARCA: AUTONIC
MODELO: TZN4S
NUMERO DE SERIE: NO INDICA
FECHA CALIBRACIÓN: 20/12/2023


Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 83217
Jefe de Laboratorio

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia ASTM C1585-04

4. RESULTADOS:

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.76	24101	306	28
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	79.76	24327	305	28
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	80.78	24557	304	28

MUESTRA PATRÓN (CEMENTO TIPO V - SIN ADITIVO) SIN EXPOSICION A SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.76	24416	310	28
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	81.76	25182	308	28
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	79.34	24278	306	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo V sin nanosílice a los 28 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 45

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°077-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISULFITO EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	22/10/2024	78.06	26462	334	7
2	MP-005/24	15/10/2024	22/10/2024	79.66	26606	335	7
3	MP-006/24	15/10/2024	22/10/2024	78.18	26268	332	7

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	22/10/2024	78.78	26462	339	21
2	MP-005/24	01/10/2024	22/10/2024	79.46	26606	334	21
3	MP-006/24	01/10/2024	22/10/2024	78.28	26268	336	21

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1% de nanosilice a los 7 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 46

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°078-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04


Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 1499 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	29/10/2024	79.36	26982	340	14
2	MP-005/24	15/10/2024	29/10/2024	81.16	27676	341	14
3	MP-006/24	15/10/2024	29/10/2024	79.84	27066	339	14

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	29/10/2024	79.76	27358	343	28
2	MP-005/24	01/10/2024	29/10/2024	78.76	26936	342	28
3	MP-006/24	01/10/2024	29/10/2024	80.34	27717	345	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1% de nanosilíce a los 14 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 47

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1% de Nanosilice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°079-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISLITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:
ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.38	26884	343	28
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	81.16	28000	345	28
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	80.22	27596	344	28

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.00% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	12/11/2024	78.76	27330	347	42
2	MP-005/24	01/10/2024	12/11/2024	80.76	28104	348	42
3	MP-006/24	01/10/2024	12/11/2024	80.14	27969	349	42

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1% de nanosilice a los 28 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 48

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°080-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 1499 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	22/10/2024	79.86	26877	343	7
2	MP-005/24	15/10/2024	22/10/2024	79.16	27073	342	7
3	MP-006/24	15/10/2024	22/10/2024	79.22	27355	341	7

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	22/10/2024	78.78	27258	346	21
2	MP-005/24	01/10/2024	22/10/2024	79.46	27334	344	21
3	MP-006/24	01/10/2024	22/10/2024	.30	26700	341	21

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1.5% de nanosílice a los 7 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 49

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°069-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Octubre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	29/10/2024	78.36	28445	363	14
2	MP-005/24	15/10/2024	29/10/2024	81.16	29705	366	14
3	MP-006/24	15/10/2024	29/10/2024	80.74	29551	366	14

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	29/10/2024	78.78	28912	367	28
2	MP-005/24	01/10/2024	29/10/2024	79.46	29321	369	28
3	MP-006/24	01/10/2024	29/10/2024	78.28	28650	366	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1.5% de nanosílice a los 14 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 50

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 1.5% de Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos

LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°070-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRESA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:
ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.98	28591	362	28
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	79.16	28973	366	28
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	78.56	29470	365	28

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	12/11/2024	78.12	28601	368	42
2	MP-005/24	01/10/2024	12/11/2024	80.16	29461	367	42
3	MP-006/24	01/10/2024	12/11/2024	79.74	29587	368	42

5. OBSERVACIONES:
1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

Informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 1.5% de nanosílice a los 28 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 51

Certificado del Ensayo a Compresión a los 7 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°071-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04


Edwin W. Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:
ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 2.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	22/10/2024	78.36	28366	338	7
2	MP-005/24	15/10/2024	22/10/2024	80.16	29339	339	7
3	MP-006/24	15/10/2024	22/10/2024	78.56	28674	340	7

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	22/10/2024	78.36	26564	339	21
2	MP-005/24	01/10/2024	22/10/2024	78.16	26574	340	21
3	MP-006/24	01/10/2024	22/10/2024	80.16	27495	343	21

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 2% de nanosílice a los 7 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 52

Certificado del Ensayo a Compresión a los 14 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosílice Sometidos a Sulfatos Severos



LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°073-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTISALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. de Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:
ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 2.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 9999 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DÍAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.36	27191	347	14
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	79.16	27706	350	14
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	80.56	28115	349	14

ADITIVO DE NANOSÍLICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DÍAS
1	MP-004/24	01/10/2024	12/11/2024	78.78	27573	350	28
2	MP-005/24	01/10/2024	12/11/2024	80.46	28241	351	28
3	MP-006/24	01/10/2024	12/11/2024	79.28	27907	352	28

5. OBSERVACIONES:

1) La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388

Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 2% de nanosílice a los 14 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

Figura 53

Certificado del Ensayo a Compresión a los 28 Días de la Muestra Patrón a base de Cemento Tipo I más 2% de Nanosilíce Sometidos a Sulfatos Severos

LABORATORIO GEOTÉCNICO
CECAPED
SUELOS
RUC 20607813788

INFORME N°072-24/CECAPED

Proyecto: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LA NANOSILICE EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO $f'c=280$ kg/cm² CON CEMENTO TIPO I Y V ANTIALITRE EN CAJABAMBA, PROV CAJAMARCA 2024"

Ubicación: Distrito de Cajabamba, Prov. Cajamarca

Fecha de emisión: Noviembre 2024

1. DE LA MUESTRA : Consistente en 03 probetas cilíndricas de concreto

2. DEL EQUIPO: **PRENSA DE CONCRETO**
MARCA: UTEST
MODELO: UTC-6231
NUMERO DE SERIE: 18/002118
FECHA CALIBRACIÓN: 2023-12-04

[Firma]
Eduardo Delgado Florian
Ing. Civil
Reg. CIP 88217
Jefe de Laboratorio

3. METODO DEL ENSAYO: Norma de Referencia NTP. 330.034 / ASTM C-39

4. RESULTADOS:

ADITIVO DE NANOSILICE AL 2.00% EXPUESTO AL ATAQUE DE SULFATOS 1499 ppm

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	15/10/2024	12/11/2024	78.36	26486	367	28
2	MP-005/24	15/10/2024	12/11/2024	79.16	26835	364	28
3	MP-006/24	15/10/2024	12/11/2024	79.56	27050	367	28

ADITIVO DE NANOSILICE AL 1.50% SIN EXPOSICION AL ATAQUE DE SULFATOS

N°	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	FECHA DE OBTENCIÓN	FECHA DE ENSAYO	AREA (cm ²)	CARGA MÁXIMA (kg)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	EDAD EN DIAS
1	MP-004/24	01/10/2024	12/11/2024	79.78	27045	371	42
2	MP-005/24	01/10/2024	12/11/2024	79.46	27016	369	42
3	MP-006/24	01/10/2024	12/11/2024	80.28	27536	368	42

5.OBSERVACIONES:

1). La información referente al muestreo, procedencia, cantidad, fecha de obtención e identificación han sido proporcionadas por el solicitante

informes@cecapedsuelos.com.pe
www.cecapedsuelos.com.pe

Calle Cobre Mz. A Lote 07 Urb. San Isidro - Trujillo
946 227 318 996 968 817 (044) 679 388


Nota. En esta figura se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia a compresión de la muestra a base de cemento patrón tipo I más 2% de nanosilíce a los 28 días de rotura luego de su emersión, luego de sus 14 días de curado. El otro cuadro muestra las roturas de las muestras del mismo patrón, obtenidas a la misma, pero sin inmersión a sulfato de magnesio.

ANEXO N° 6: Certificados de Calibración de los instrumentos de laboratorio

A. Prensa

Figura 54

Certificado de Calibración de Prensa

 METROLOGIA & TÉCNICAS S.A.C. <small>Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio</small>		
Área de Metrología Laboratorio de Fuerza		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 064 - 2024 <small>Página 1 de 3</small>
1. Expediente	220187	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
2. Solicitante	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES CECAPED SUELOS S.A.C.	
3. Dirección	Urb. Covicorti Mz. i Lote 8 Trujillo - LA LIBERTAD	
4. Equipo	PRESNA DE CONCRETO	
Capacidad	2000 kN	
Marca	UTEST	
Modelo	UTC - 6231	
Número de Serie	18/002118	
Procedencia	TURQUIA	
Identificación	NO INDICA	
Indicación	DIGITAL	
Marca	UTEST	
Modelo	BC100	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	0,01 kN	
Ubicación	LABORATORIO	
5. Fecha de Calibración	2024-04-12	
Fecha de Emisión	Jefe del Laboratorio de Metrología	Sello
2024-04-18		
Metrología & Técnicas S.A.C. Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, SMP, LIMA Telf: (511) 540-0642 Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282		ventas@metrologiatecnicas.com metrologia@metrologiatecnicas.com www.metrologiatecnicas.com

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la prensa hidráulica.

Figura 55

Certificado de Calibración de Prensa



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 064 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

Ubicación del equipo
Urb. Covicorti Mz.i Lote 8 - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	23,9 °C	22,9 °C
Humedad Relativa	55 % HR	56 % HR

9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania 2020-187747 / 2020-195857	Celda de carga calibrado a 1500 kN con incertidumbre del orden de 0,6 %	LEDI-PUCP INF-LE-024-21A

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la prensa hidráulica.

Figura 56

Certificado de Calibración de Prensa



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 064 - 2024

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	$F_{Promedio}$ (kgf)
10	10000,0	9992,4	9992,4	9982,4	9989,1
20	20000,0	19967,8	19977,8	19967,8	19971,1
30	30000,0	30026,6	30016,6	30016,6	30019,9
40	40000,0	40079,0	40089,0	40069,0	40079,0
50	50000,0	49992,3	50002,3	49992,3	49995,7
60	60000,0	60056,1	60046,1	60046,1	60049,4
70	70000,0	70028,9	70008,9	70038,9	70025,6
80	80000,0	80082,7	80112,7	80092,7	80096,0
90	90000,0	90088,3	90118,3	90078,3	90095,0
100	100000,0	100096,9	100116,9	100086,9	100100,2
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000,0	0,11	0,10	---	0,00	0,51
20000,0	0,14	0,05	---	0,00	0,51
30000,0	-0,07	0,03	---	0,00	0,51
40000,0	-0,20	0,05	---	0,00	0,51
50000,0	0,01	0,02	---	0,00	0,51
60000,0	-0,08	0,02	---	0,00	0,51
70000,0	-0,04	0,04	---	0,00	0,51
80000,0	-0,12	0,04	---	0,00	0,51
90000,0	-0,11	0,04	---	0,00	0,51
100000,0	-0,10	0,03	---	0,00	0,51

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0,00 %
---	--------

12. Incertidumbre


La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la prensa hidráulica.

B. Horno

Figura 57

Certificado de Calibración del Horno



CALIBRACIONES PERÚ S.A.C.


LABORATORIO DE METROLOGÍA

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

LMT-026-2023

Pág. 1 de 3

Laboratorio de Temperatura		
Expediente	2023	Este certificado de calibración
Solicitante	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES CECAPED SUELOS S.A.C.	documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
Dirección	CAL.CALLE 14 MZA. I LOTE. 13 LA LIBERTAD - TRUJILLO - TRUJILLO	
Equipo	ESTUFA (HORNO)	
Marca (o Fabricante)	NACIONAL	
Modelo	NO INDICA	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.
Numero de Serie	NO INDICA	
Procedencia	NO INDICA	
Identificación	NO INDICA	
Instrumento de Medición	Termometro con Indicación Digital.	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.
Marca/ Modelo	AUTONIC	
Alcance de Indicación	50 °C a 200 °C	
Div. de escala (Resoluc)	0.1 °C	
Identificación	No indica	Los certificados de calibración sin firma y sello no son válidos.
Selector	Digital	
Marca/ Modelo	AUTONIC / TZN4S	
Alcance de Indicación	50 °C a 200 °C	
Div.de escala (Resoluc)	0.1 °C	
Lugar de Calibración	LABORATORIO MECANICA DE SUELOS	
Fecha de Calibración	20/06/2023	
Metodo de Calibración		
La calibración se realizo por comparación según el PC - 18, 2da.Ed., "Procedimiento para la Calibración o Caracterización de Medios Isotermos con Aire como medio Termostatico".		
Trazabilidad		
Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL-DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI)		
Patrones utilizados : T - 2739 - 2023		
Condiciones Ambientales		
Temperatura ambiental	: Inicial 20.8 °C ; Final : 20.8 °C	
Humedad Relativa ambiental	: Inicial 68 HR % ; Final : 68 HR %	
Sello	Fecha de emisión	Jefe del laboratorio de calibración
	2023-06-20	 Roberto Quinto JEFE DE LABORATORIO

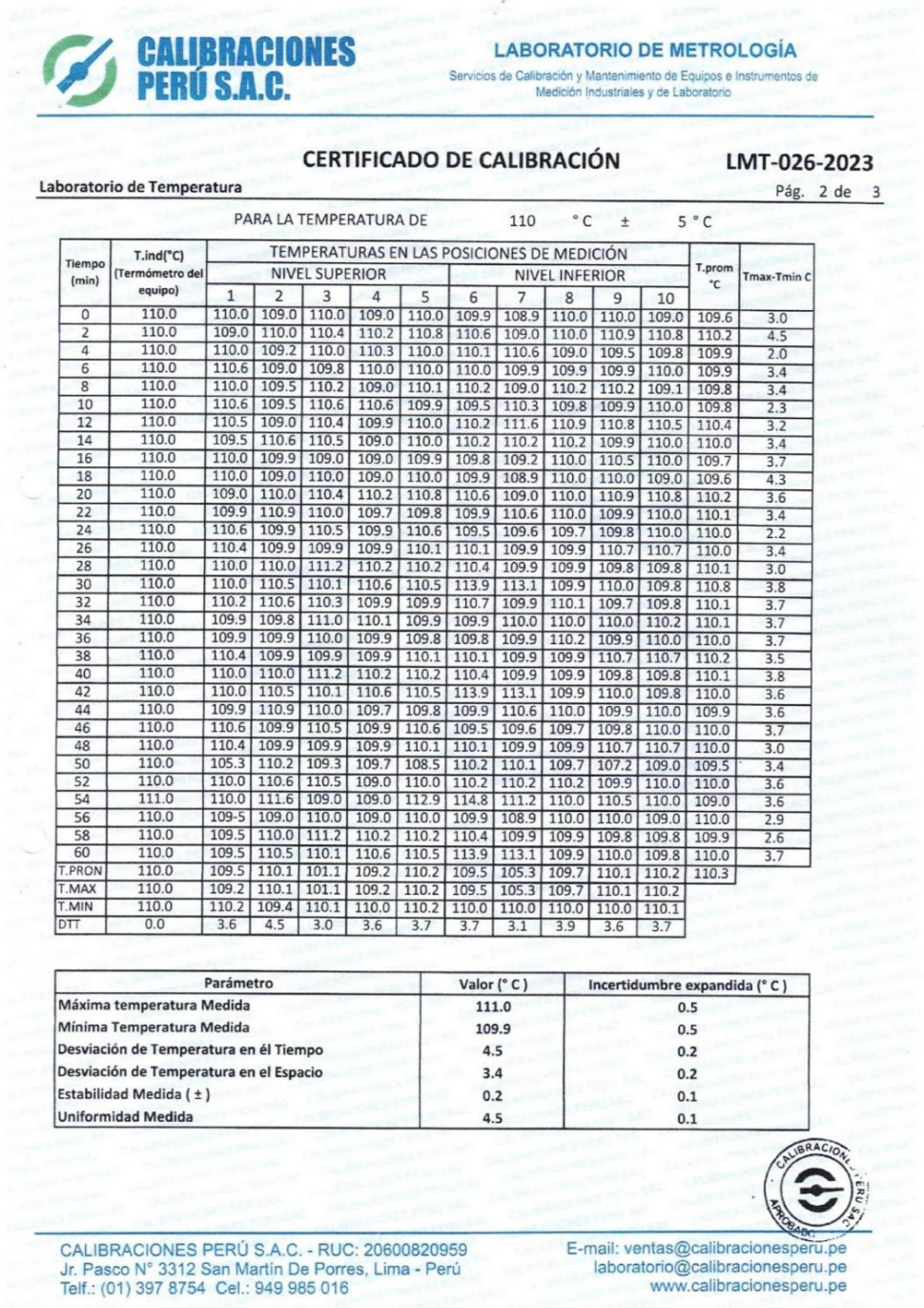
CALIBRACIONES PERÚ S.A.C. - RUC: 20600820959
 Jr. Pasco N° 3312 San Martín De Porres, Lima - Perú
 Telf.: (01) 397 8754 Cel.: 949 985 016

E-mail: ventas@calibracionesperu.pe
laboratorio@calibracionesperu.pe
www.calibracionesperu.pe

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración del horno de laboratorio

Figura 58

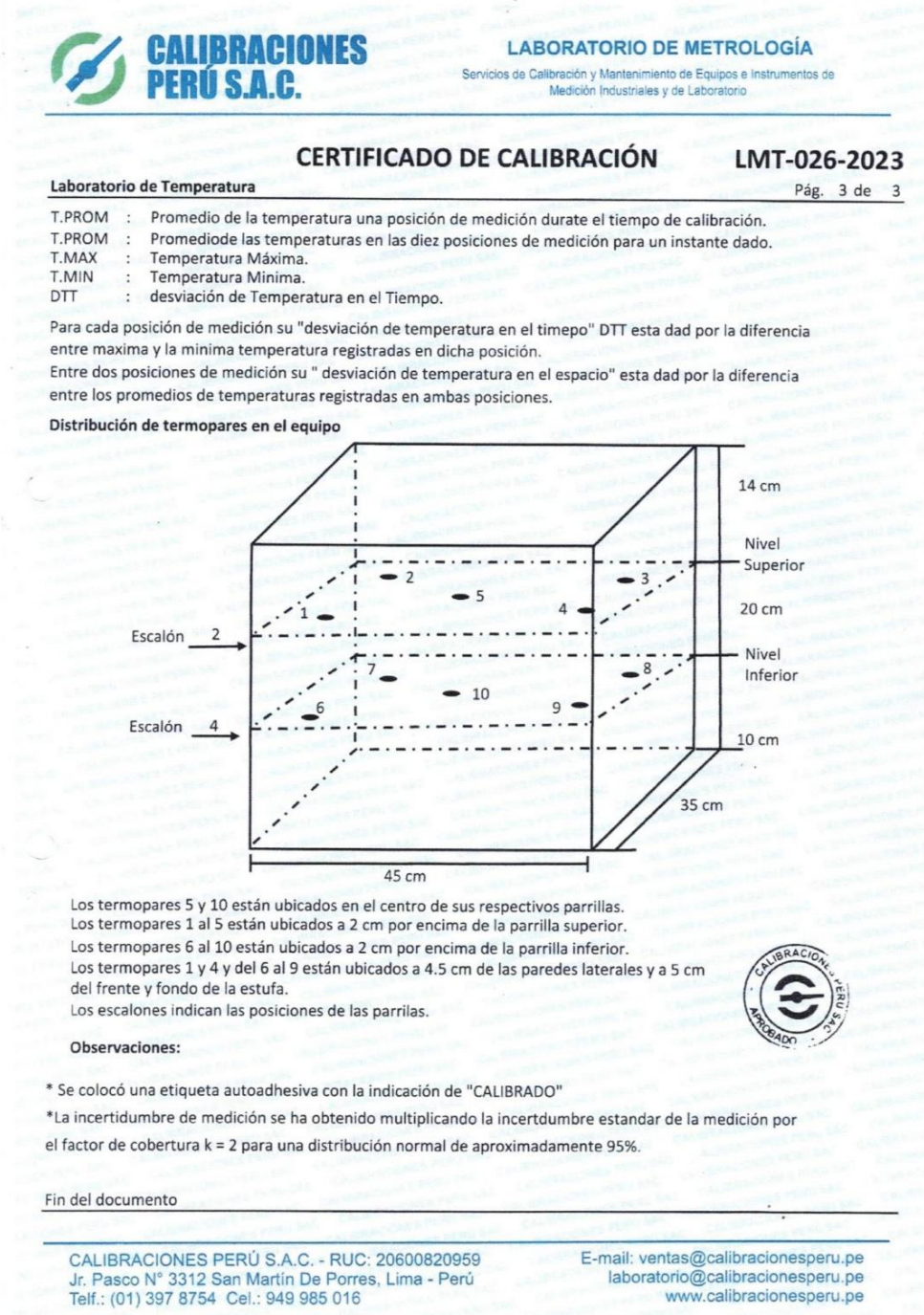
Certificado de Calibración del Horno



Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración del horno de laboratorio

Figura 59

Certificado de Calibración del Horno



Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración del horno de laboratorio

C. Balanzas

Figura 60


Certificado de Calibración de la Balanza N° 1



Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la balanza N°1

Figura 61

Certificado de Calibración de la Balanza N° 1



CERTIFICADO DE CALIBRACION N°C044404280

Fecha: 18/05/2022
Caduca: 18/11/2022

SOLICITANTE : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES CECAPED SUELOS S.A.C

Marca : OHAU Clase : II
Modelo : SPX6201 Capacidad : 6200 g
Serie : C044404280 Divis de Escala : 0.1 g
Divis de verificación : 0.1 g

Medición Nro	Carga L1= 300 g		
	I (a)	AL (a)	E (a)
1	2000.00	0.1	-00.5
2	2000.00	0.1	-00.5
3	2000.00	0.1	-00.5
4	2000.00	0.1	-00.5
5	2000.00	0.1	-00.5
6	2000.00	0.1	-00.5
7	2000.00	0.1	-00.5
8	2000.00	0.1	-00.5
9	2000.00	0.1	-00.5
10	2000.00	0.1	-00.5

Medición Nro	Carga L1= 620 g		
	I (a)	AL (a)	E (a)
1	6200.00	0.1	-00.5
2	6200.00	0.1	-00.5
3	6200.00	0.1	-00.5
4	6200.00	0.1	-00.5
5	6200.00	0.1	-00.5
6	6200.00	0.1	-00.5
7	6200.00	0.1	-00.5
8	6200.00	0.1	-00.5
9	6200.00	0.1	-00.5
10	6200.00	0.1	-00.5

CARGA	DIFERENCIA MAXIMA ENCONTRADA	ERRORES MAXIMOS PERMISIBLES
2000 g	0 g	1 g
6200 g	0 g	0 g

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD


Posic. De Carga	Determinación de error corregido Eo			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1	1 g	1.0	0.1	-0.05
2		1.0	0.1	-0.05
3		1.0	0.1	-0.05
4		1.0	0.1	-0.05
5		1.0	0.1	-0.05

Carga L	Determinación de error corregido Eo				e.m.p + (g)
	I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
100 g	100.00	0.1	-0.05	0	0.2
	100.00	0.1	-0.05	0	0.2
	100.00	0.1	-0.05	0	0.2
	100.00	0.1	-0.05	0	0.2
	100.00	0.1	-0.05	0	0.2

ENSAYO DE PESAJE

Carga L (g)	Determinación de error corregido Eo			
	Carga Min	I (g)	AL (g)	E (g)
1	1.0	0	0	0
2	2.0	0	0	0
5	5.0	0	0	0
10	10.0	0	0	0
50	50.0	0	0	0
100	100.0	0	0	0
200	200.0	0	0	0
500	500.0	0	0	0
1000	1000.0	0	0	0
2000	2000.0	0	0	0
5000	5000.0	0	0	0
6200.0	6200.0	0	0	0

DECRECIENTES				e.m.p + (g)
I (g)	AL (g)	E (g)	Ec (g)	
1.0	0	0	0	0.02
2.0	0	0	0	0.02
5.0	0	0	0	0.02
10.0	0	0	0	0.02
50.0	0	0	0	0.02
100.0	0	0	0	0.02
200.0	0	0	0	0.02
500.0	0	0	0	0.02
1000.0	0	0	0	0.02
2000.0	0	0	0	0.03
5000.0	0	0	0	0.03
6200.0	0	0	0	0.03



Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISION S.A.C.

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la balanza N°1

Figura 62

Certificado de Calibración de la Balanza N° 2



PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN
CERTIFICADO DE CALIBRACION N°8341486390

SOLICITANTE : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES CECAPED SUELOS S.A.C
Dirección : CALLE COBRE MZ. A LOTE 07 URB. SAN ISIDRO – TRUJILLO
Fecha : 18/05/2022

CERTIFICA QUE : El instrumento de medición con el modelo y nro. De serie indicados líneas abajo, ha sido calibrado y probado utilizando patrones certificados con trazabilidad en el Instituto Nacional de Calidad - INACAL

Instrumento de medición : Balanza Digital
Capacidad : 620 gr.
Marca : OHAUS
Modelo : NV622
Nro de Serie : 8341486390
Fecha de calibración : 18.05.2022
Prox. Fecha de calibración : 18.11.2022

METODO DE CALIBRACION
CALIBRACION EFECTUADA SEGUN NORMA METROLOGICA NMP 003-1996 Y PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DE BALANZA DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMATICO PARA BALANZAS DE CLASE I Y CLASE II

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICION
U = 0.01 gr. + 0.0003

PATRONES
01 pesa de 10 kg, 01 Pesa de 5 kg, 01 Pesa de 1 kg, 01 Pesa de 500 gr, 01 Jgo de Pesas de 2 mg a 200 gr, CERTIFICADOS LM-C-134-2019, LM-132-2019, LM-133-2019, LM-134-2019, LM-C-133-2019-PE19-C-0465

TRAZABILIDAD
Las pesas tienen trazabilidad a los Patrones Nacionales del Instituto Nacional de la Calidad-INACAL

CONDICIONES DE CALIBRACION
Temperatura Inicial 22 °C Final 22.1 °C
Humedad Relativa 60%

RESULTADO DE LA MEDICION
Los errores encontrados son menores a los errores máximos permitidos por la norma metrología consultada.

LABORATORIO
PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

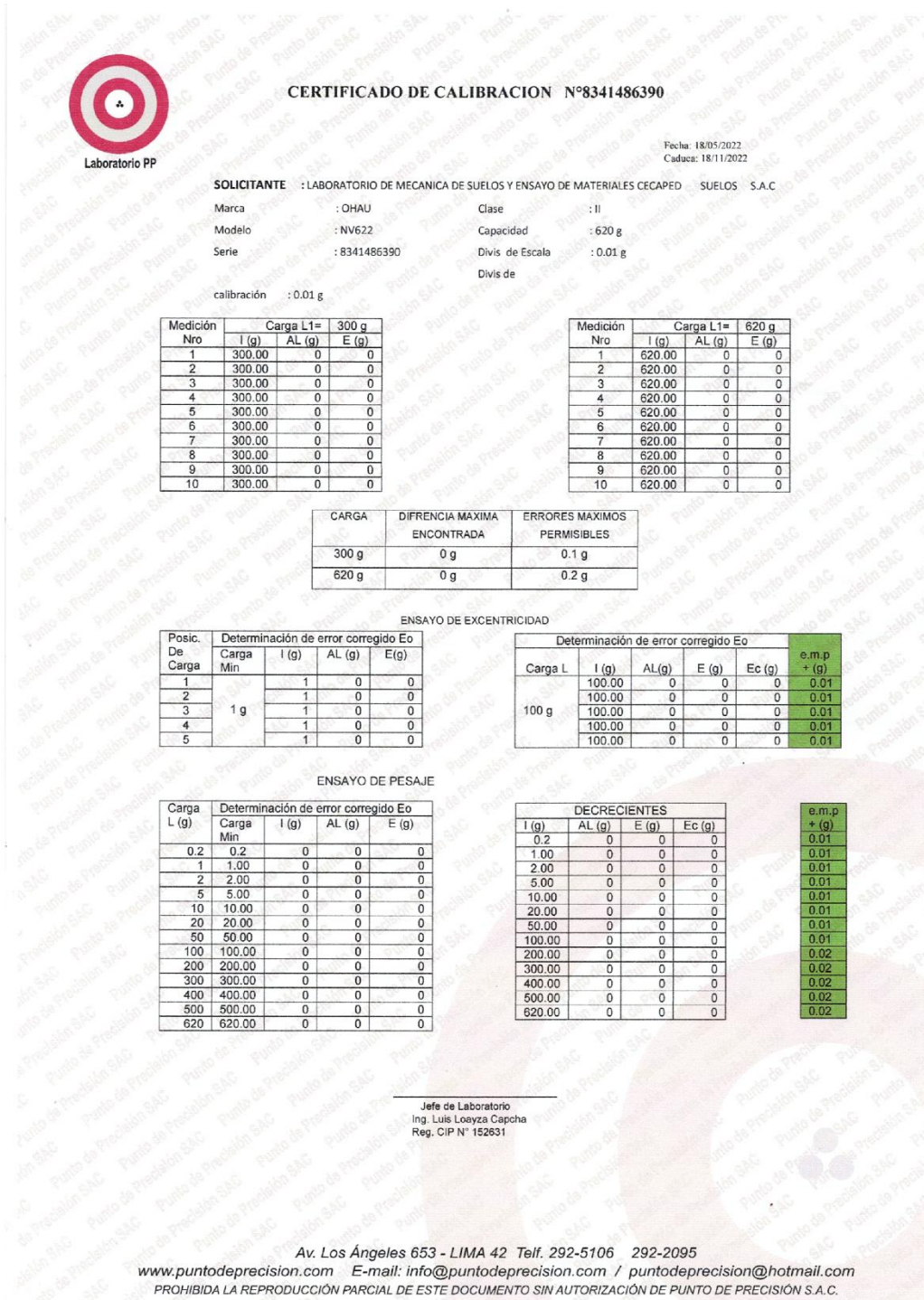
Jefe de Laboratorio
Ing. Luis Loayza Capcha
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 292-2095
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la balanza N°2

Figura 63

Certificado de Calibración de la Balanza N° 2




Nota. En esta figura se muestra el certificado de calibración de la balanza N°2

ANEXO N° 7: Ficha técnica de los productos

Figura 64

Ficha Técnica de la Nanosilice empleada en el Proyecto



GAIA Nanosílice

Adicionante de cemento para concretos
De altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05
Revisión: 14
Fecha de Revisión: Oct 7, 19
Página: 1 de 1

Industrias Ulmen S.A. Aditivos para concreto

Descripción

GAIA Nanosílice es un primer Adicionante base nanosílice generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible/Ulmen

Pertenece a la línea GAIA NANOSÍLICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento

Aspectos Técnicos

GAIA Nanosilice elimina el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con GAIA Nanosílice se obtiene concretos de alto rendimiento: 70 MPa a R28

Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262

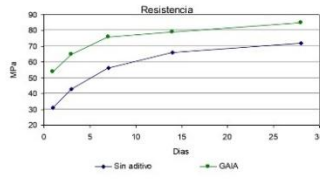
Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y - - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

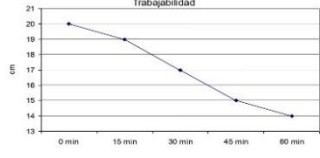
6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001

Resistencia



Días	Sin aditivo (MPa)	GAIA (MPa)
0	30	30
5	45	65
10	55	75
15	60	78
20	65	80
25	68	82
30	70	85

Trabajabilidad



min	Sin aditivo (E)	GAIA (E)
0	20	20
15	19	19
30	17	17
45	15	15
60	14	14

Dosis

Recomendamos dosis de acuerdo a los concretos a elaborar. Lo ideal es contactar el servicio técnico ULMEN para optimizar su uso.

Presentación

En cilindro plástico de 220 kg
En dispenser retornable de 1100 kg

Propiedades físicas

Apariencia : Líquido
Color : Café Claro
Densidad : 1,03 ± 0,02 g/mL

Clasificación

GAIA Nanosilice se clasifica como aditivo tipo F según ASTM C494

Cooperativa las Vertientes, Calle 4, Mz C-1 Sub Lt 2-F Villa El Salvador – Lima
Teléfonos (01) 719-4126 / 719-4127

www.cognoscibletechnologies.com
 www.ulmen.cl
 atencionalcliente@ulmen.cl

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica de Gaia Nanosilice, aditivo empleado para el desarrollo de proyecto. Este producto ha sido distribuido por Industrias Ulmen, empresa

dediada a la implementación de aditivos para la industria de la construcción.

Figura 65

Ficha Técnica del Cemento Tipo V Empleado en el Proyecto



Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica del cemento Andino tipo V, empleado para el

desarrollo de proyecto.

Figura 66

Ficha Técnica del Cemento Tipo V Empleado en el Proyecto

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS			
PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO ANDINO TIPO V	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	4	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.02	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	380	Mínimo 260
Densidad	g/cm ³	3.19	No específica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	201	Mínimo 82
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	250	Mínimo 153
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	376	Mínimo 214
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	135	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	298	Máximo 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	1.8	Máximo 6.0
SO ₃	%	1.7	Máximo 2.3
Pérdida al fuego	%	2.1	Máximo 3.0
Residuo insoluble	%	0.5	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C3S	%	56	No específica
C2S	%	16	No específica
C3A	%	1	Máximo 5
C4AF	%	14	No específica
ÁLICALIS EQUIVALENTES			
Contenido de álcalis equivalentes	%	0.40	Máximo 0.60
RESISTENCIA A LOS SULFATOS			
Resistencia al ataque de sulfatos	%	0.019	0.040 % Máx. a 14 días

RECOMENDACIONES GENERALES		
<p>DOSIFICACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas. > Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento. > Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días. 	<p>MANIPULACIÓN:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados. > Usar la vestimenta y epp adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas. > El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel. 	<p>ALMACENAMIENTO:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad. > Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrirlas con mantas de plástico. > Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.






Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica del cemento Andino tipo V, empleado para el desarrollo de proyecto.

Figura 67

Ficha Técnica del Superplastificante Empleado en el Proyecto

CONSTRUYENDO CONFIANZA


HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante

Aditivo plastificante y reductor de agua para morteros y hormigones

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce agua del concreto incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales.

USOS

SikaCem® Plastificante es recomendable para:

- Estructuras en general canales, diques, estructuras de fundación, columnas, vigas, tanques elementos prefabricados, losas, etc.)
- Cualquier tipo de estructura, cuando se desee aumentar las resistencias mecánicas o dar mayor fluidez al hormigón.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

En el hormigón fresco:

- Mejora la trabajabilidad del hormigón (plastifica), facilitando su colocación y compactación.
- Permite una reducción en la cantidad de agua de amasado en un 15% aproximadamente, lo que se manifiesta en un aumento de las resistencias mecánicas del hormigón endurecido.
- Aumento de la cohesión interna en el hormigón fresco, tendiendo a evitar la segregación de los áridos.
- Disminuye la exudación.

En el hormigón endurecido:

- Posibilita un incremento de las resistencias mecánicas a la compresión del orden de más del 15%.
- Reduce la contracción.
- Aumenta la adherencia al acero.

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaCem® Plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo A y Tipo D

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos.
Empaques	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Envase PET x 4 L ▪ Balde x 20 L
Apariencia / Color	Líquido marrón oscuro
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	En sus envases de origen, bien cerrados y no deteriorados, en lugares frescos y secos, a temperaturas entre + 5°C y + 30°C. Protegido del congelamiento, del calor excesivo y de la radiación solar directa.
Densidad	1.20 +/- 0.02

INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto	Mezclar los materiales componentes del hormigón o mortero con parte del
-----------------------------	---

Hoja De Datos Del Producto
SikaCem® Plastificante
Junio 2021, Versión 01.02
02130201100000829

1 / 2

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica de SikaCem® Plastificante, aditivo empleado como superplastificante para el desarrollo de proyecto.


Figura 68

Ficha Técnica del Superplastificante Empleado en el Proyecto

agua de mezclado, incorpore el contenido del DoyPack de SikaCem® Plastificante al pastón y complete con la menor cantidad de agua hasta lograr la fluidez requerida.
 Para asegurar la homogeneidad del hormigón o mortero, se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.
 Para mejorar el desempeño de morteros y hormigones se recomienda mantener la dosificación y proporción de los materiales componentes, Utilizar la menor cantidad de agua de mezclado hasta alcanzar la fluidez necesaria para la obra.
 Cuidar que se cumplan las correctas condiciones de elaboración, colocación, compactación y curado.
 La sobre-dosificación de SikaCem® Plastificante puede causar retardo de fragüe.
 El desempeño de los aditivos pueden variar si se modifican los materiales componentes o sus cantidades.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Como plastificante: 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg. ▪ Como superplastificante: hasta 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
---------------------------------	---

<p>NOTAS</p> <p>Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.</p> <p>LIMITACIONES</p> <p>Temperatura Ambiente +5°C mín. / +30°C máx.</p> <p>ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD</p> <p>Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad</p> <p>RESTRICCIONES LOCALES</p> <p>Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto</p> <p>NOTAS LEGALES</p> <p>Sika Perú Habilitación Industrial El Lúcumo Mz. "B" Lote 6 Lurin, Lima Tel. (511) 618-6060</p> <p>Hoja De Datos Del Producto SikaCem® Plastificante Junio 2021, Versión 01.02 021302011000000829</p>	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">SikaCemPlastificante-es-PE-(06-2021)-1-2.pdf</p> <p style="text-align: right;"></p>
---	--

2 / 2
CONSTRUYENDO CONFIANZA

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica de SikaCem® Plastificante, aditivo empleado como superplastificante para el desarrollo de proyecto.

Figura 69

Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto

CEMENTO TIPO I

“ESTRUCTURAL”

Octubre 2023 V1

DESCRIPCIÓN

Cemento Portland de uso general Tipo I. Gracias a su diseño de clinker, se logra una mejor resistencia a la compresión garantizando óptimos resultados en tu obra.

ATRIBUTOS

Altas resistencias a todas las edades

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

PRESENTACIONES

Saco regular
42.5 kg

Ecosaco
42.5 kg

A granel

Big Bag
(1 tonelada)

*En cumplimiento de la Norma Metroológica Peruana (NMP 002:2018)

RECOMENDACIONES DE USO

Utilizar agregados y materiales de buena calidad.

A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

DOSIFICACIONES RECOMENDADAS

- Las proporciones de los materiales están sujetas a la calidad de los agregados de la zona, y a la ejecución de un diseño de mezclas por un experto, pero es aceptado que con materiales aprobados para construcción se usen las siguientes proporciones.

Aplicación	Resistencia (f'c)	Cemento	Arena limpia	Piedra de tamaño máximo 19 mm	Agua
Losas aligeradas, placas y otros	175	1	2	3	0.5 (*)
Vigas y columnas	210	1	2	2	0.5 (*)

(*) El agua debe ser la suficiente para lograr una consistencia trabajable (slump de 5 a 6 pulgadas), la mezcla no debe estar muy aguada, debe poder levantarse con un badilejo sin escurrirse rápidamente.

- Para otro tipo de concreto se requiere un diseño de mezclas específico, si se usan aditivos el agua debe reducirse.
- Usar un único recipiente de medida.

RECOMENDACIONES DE ALMACENAMIENTO

- 1 Los primeros cementos que entren, deben ser los primeros en salir.
- 2 Las bolsas de cemento deben almacenarse a una distancia de 15 cms como mínimo de las paredes del almacén y 60 cms de otras pilas.
- 3 Cubrir con una capa impermeable para evitar la humedad.
- 4 Reducir tiempo de almacenamiento cuando las temperaturas sean menores a 10°C.
- 5 Revisar la bolsa de cemento antes de usarla para verificar si es que tiene grumos. En caso tenga grumos, antes de su uso tamizar la bolsa.
- 6 Colocar parihuelas de madera para evitar la humedad del suelo.
- 7 Evitar la circulación del aire entre bolsas en el apilado.

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica del cemento Pacasmayo tipo I, empleado para el desarrollo de proyecto.

Figura 70

Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto

¿QUÉ ES EL ECOSACO?

Bolsa que se disgrega con la acción de la piedra en mezclas de concreto.

BENEFICIOS DE USAR ECOSACO

- El Ecosaco reducirá el riesgo de exposición al polvo del cemento al maestro ya que va directamente al trompo sin necesidad de abrir la bolsa cuando se ejecutan las mezclas de concreto.
- El Ecosaco genera cero desperdicios, con la acción de la piedra el empaque se disgrega en la mezcla de concreto.
- El Ecosaco mejora la productividad, ahorra en el tiempo de limpieza en obra y gestión de desechos de construcción.

CÓMO USAR EL ECOSACO EN 5 MINUTOS

- AGREGA** la mitad de la proporción de agua (A) y luego introduce el EcoSaco (sin abrir) directo a un trompo de al menos 340 litros.
- AÑADE** el total de los áridos: piedra (B) y arena (C) en el trompo, según el diseño de concreto.
- AJUSTA** la mezcla añadiendo el resto de la proporción de agua y asegure que toda la bolsa esté incorporada en la mezcla para lograr una correcta integración.
- MEZCLA** hasta tener un resultado homogéneo y con la fluidez buscada.

ESCALA DE EMISIONES DE CARBONO

	Factor Clinker	Emisiones
Bajo	hasta 70%	500 a 700 Kg CO2 eq
Medio	71% a 88%	701 a 800 Kg CO2 eq
Alto	89% a 100%	801 Kg CO2 eq a más

*Tipo I se encuentra en el rango alto en emisiones de carbono según el informe de auditoría realizado por Ecoamet 2022.
*Los resultados presentados corresponden por tonelada (TN) de cemento.

CERTIFICACIÓN EN CUMPLIMIENTO DEL DECRETO SUPREMO N° 001-2022-PRODUCE

Certificación que valida el cumplimiento del Reglamento Técnico sobre Cemento Hidráulico utilizado en Edificaciones y Construcciones en General

Empresa Certificadora: ICONTEC, Organismo de certificación internacional reconocido por el IAF (Foro Internacional de Acreditación) con alta experiencia certificando productos y servicios en el mundo.

Nº PE 834 009 ASTM C 150 Cemento Portland
Código: 150000

ISO 9001:2015 PRODUCCIÓN
Cemento Hidráulico
Ámbito en Edificaciones y Construcciones en General

Cementos Pacasmayo optó por el modelo de certificación más alto y riguroso obteniendo la máxima certificación: Esquema Tipo 5.

1

2

3

4

5

*Tipos de esquema de certificación

Esquema Tipo 5: Certifica el proceso productivo y la comercialización, verificación del sistema de gestión de calidad en el comercializador, verificación del control de la producción en planta y verificación del sistema de gestión de calidad en planta.


CERTIFICACIONES DE LA COMPAÑÍA

También miembros de **gbc®**

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica del cemento Pacasmayo tipo I, empleado para el desarrollo de proyecto.

Figura 71

Ficha Técnica del Cemento Tipo I Empleado en el Proyecto



Cemento Tipo I

Cemento Portland de uso general Tipo I

Requisitos normalizados - NTP 334.009 / ASTM C150

REQUISITOS QUÍMICOS


ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
MgO	Máximo	6.0	%	NTP 334.086	1.7
SO ₃	Máximo	3.00	%	NTP 334.086	2.82
Alcalis equivalente	-	-	%	NTP 334.086	0.8
Pérdida por ignición	Máximo	3.5	%	NTP 334.086	2.8
Residuo insoluble	Máximo	1.5	%	NTP 334.086	0.6


REQUISITOS FÍSICOS

ENSAYOS	TIPO	VALOR	UNIDAD	NORMAS DE ENSAYO	RESULTADOS*
Finura					
Superficie específica	Mínimo	2,600	cm ² /g	NTP 334.002	4100
Expansión en autoclave	Máximo	0.80	%	NTP 334.004	0.08
Contenido de aire	Máximo	12	%	NTP 334.048	7
Resistencia a la compresión					
3 días	Mínimo	12.0 (1740)	MPa (psi)	NTP 334.051	27.6 (4000)
7 días	Mínimo	19.0 (2760)	MPa (psi)	NTP 334.051	33.3 (4830)
28 días**	Mínimo	28.0 (4060)	MPa (psi)	NTP 334.051	40.5 (5870)
Tiempo de Fraguado Vicat					
Fraguado inicial	Mínimo	45	Minutos	NTP 334.006	148
Fraguado final	Máximo	375	Minutos	NTP 334.006	274
Expansión en barra de mortero curada en agua a 14 días	Máximo	0.020	%	NTP 334.093	0.008

*Valores promedios referenciales de lotes despachados / **Requisito opcional.

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos físicos y químicos de la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo 


Para más información ingresa a:
www.cementospacasmayo.com.pe
 O escanea el código QR: 

Nota. En esta figura se muestra la ficha técnica del cemento Pacasmayo tipo I, empleado para el desarrollo de proyecto.

ANEXO N° 8: Cotizaciones de Productos

Figura 72

Cotización de Gaia Nanosilice



Fabricación y comercialización de Aditivos para Morteros y Concretos

Cotización N° 2024-397

Lima 16 de setiembre de 2024

Señores : Jhon Deyvis Vargas Avila

RUC : 74282640

Email : jhon74282640@gmail.com

Estimado(s) Señor(es):
Nos es grato cotizarle(s) el (los) siguiente(s) producto(s):

Item	Descripción	Precio unitario (soles/Kg)
1	Aditivo GAIA NANOSILICE	S/ 20.00

- ✓ El Aditivo producto se entrega en galoneras.
- ✓ La cotización incluye envases.
- ✓ El cliente recoge el producto de la planta Ulmen Villa el Salvador : Coop. Las Vertientes, Calle 4, Mz C-1, Lote 2-F, Villa El Salvador, Lima.,.
- ✓ Para su atención debe enviar el comprobante de pago y la orden de compra, de no tener una solo enviar un correo indicando la cantidad a comprar al correo ventas@ulmen.cl con los datos completos: nombre, DNI, cantidad en Kg, dirección para la guía.
- ✓ La atención del producto se estima en 3 días hábiles a partir de recibido el pago.
- ✓ Precios están sujetos a evaluación trimestral.

CONDICIONES COMERCIALES

Precios no incluyen IGV

Forma de pago: **Contado**

La Orden de Compra enviárla por e-mail:
ventas@ulmen.cl

Dirección: ||
Teléfonos: (01) 719-4126 – 719-4127

Página 1 de 2

Nota. En esta figura se muestra la cotización de Gaia Nanosilice emitida por Industrias Ulmen, en la el Kg de nanosilice esta cotizado en S/.20 sin IGV.

Figura 73

Cotización de Gaia Nanosilice



Fabricación y comercialización de Aditivos para Morteros y Concretos

INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

Razón Social: INDUSTRIAS ULMEN S.A

RUC : 20550360714

Dirección : Cal. 4 Mza. C-1 Lt. 2-F Coop. Las vertientes Lima - Villa el Salvador

Planta : (01) 719-4126 – 719-4127

BBVA Continental

Banco continental Dólares: 0011-0261-0100006448-53 CCI: 011-261-000100006448-53

Banco continental Soles: 0011-0261-0100006421-50 CCI: 011-261-000100006421-50

Banco BCP

Banco BCP Dólares: 194-2384346-1-11 CCI: 002-19400238434611-94

Banco BCP Soles: 194-2388472-0-78 CCI: 002-194002388472078-92



Edgar Mario Villanueva Poco
Coordinador de operaciones
Industria Ulmen S.A

Dirección: ||
Teléfonos: (01) 719-4126 – 719-4127

Página 2 de 2

Nota. En esta figura se muestra la cotización de Gaia Nanosilice emitida por Industrias Ulmen, en la el Kg de nanosilice esta cotizado en S/.20 sin IGV.

Figura 74

Cotización de Cementos Tipo I y V

Cantidad		Unidad Medida	Descripción	Valor Unitario	ICBPER
3.00	BOLSA	CEMENTO PORTLAND TIPO I X 42.50 KG CEMEX	26.271186	0.00	
1.00	BOLSA	CEMENTO TIPO V X 42.50 KG ANDINO	36.440677	0.00	

<p>Fecha de Emisión : 09/10/2024</p> <p>Señor(es) : VARGAS AVILA JHON DEYVIS</p> <p>RUC : 10742826401</p> <p>Dirección del Cliente : CASERIO CHURGAPAMBA - CAJAMARCA-CAJABAMBA-CAJABAMBA</p> <p>Tipo de Moneda : SOLES</p> <p>Observación :</p>	<p>Forma de pago: Contado</p>
---	-------------------------------

<p>Valor de Venta de Operaciones Gratuitas : S/ 0.00</p> <p>SON: CIENTO TREINTA Y SEIS Y 00/100 SOLES</p>	<p>Sub Total Ventas : S/ 115.25</p> <p>Anticipos : S/ 0.00</p> <p>Descuentos : S/ 0.00</p> <p>Valor Venta : S/ 115.25</p> <p>ISC : S/ 0.00</p> <p>IGV : S/ 20.75</p> <p>ICBPER : S/ 0.00</p> <p>Otros Cargos : S/ 0.00</p> <p>Otros Tributos : S/ 0.00</p> <p>Monto de redondeo : S/ 0.00</p> <p>Importe Total : S/ 136.00</p>
--	--

Esta es una representación impresa de la factura electrónica, generada en el Sistema de SUNAT. Puede verificarla utilizando su clave SOL.

Nota. En esta figura se muestra la cotización de los tipos de Cemento tipo I y V emitida por la Empresa DMAT, donde el valor de la bolsa del cemento tipo I esta valorizado en S/. 26.27 y el cemento tipo V S/. 36.44 sin IGV.

Figura 75

Cotización SikaCem® Plastificante (Superplastificante)



DISTRIBUCIONES EDIFICANDO E.I.R.L.
 Of. Principal: AV. MANSICHE N° 2301
 Trujillo - Trujillo - La Libertad
 Sucursal: Av. Vice Mz. G-228
 Lote 4 Zona Industrial
 Piura - Piura - Piura
 Sucursal: Av. Enrique Meiggs N° 473
 P.J. Miramar Bajo
 Chimbote - Santa - Ancash
 Sucursal: Av. Panamericana Norte N° 510
 Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque

R.U.C. 20606941677
FACTURA DE VENTA ELECTRÓNICA
N° F001-0006896

SEÑOR(ES): VARGAS AVILA JHON DEYVIS
 R.U.C.: 10742826401
 DIRECCIÓN: CAJAMARCA - CAJABAMBA - CAJABAMBA
 TIP. VENTA: MERCADERIA
 N° de GUIA:
 MONEDA: SOLES

FECHA: 09/10/2024
 F. VENC.: 09/10/2024

VENDEDOR: OFICINA
 N° de OC: 00
 COND. DE PAGO: CONTADO

CÓDIGO	CANT.	U.M.	DESCRIPCIÓN	P.UNIT.	IMPORTE
471345	1.00	UND	SIKACEM PLASTIFICANTE X 4L PET	46.00	46.00

SON: CUARENTA Y SEIS Y 00/100 SOLES

Total Gravado S/:	38.98
Total No Gravado S/:	0.00
Total Exonerado S/:	0.00
I.G.V. S/:	7.02
TOTAL S/:	46.00



Representación impresa de la Factura Electrónica
 Podrá ser consultada en
<http://www.navasoft.com.pe/cpe>
 Autorizado mediante Resolución de Intendencia N°
 N/SUNAT

Nota. En esta figura se muestra la cotización de la cotización de SikaCem® Plastificante emitida por la Empresa SIKA, donde el costo de este aditivo está valorizado en S/. 38.98 sin IGV.

ANEXO N° 8: Panel Fotográfico

Figura 76

Ubicación de la Cantera para la Obtención de Agregados



Nota. En esta figura se muestra el detalle de la ubicación de la cantera “Doña Ramona” ubicada en la provincia de Cajabamba

Figura 77

Cantera Doña Ramona- Cajabamba



Nota. En esta figura se muestran los diferentes agregados que cuenta, la cantera “Doña Ramona” ubicada en la provincia de Cajabamba

Figura 78

Aditivos Usados en el Proyecto



Nota. En esta figura se muestran los aditivos usados en el proyecto, en los depósitos blancos se encuentra Gaia Nanosilice y el amarillo el SikaCem® Plastificante. Estos han sido usados en porcentajes de (1%, 1.5% y 2%) con relación al cemento, por otra parte, el superplastificante con relaciones de 1% con relación al material antes mencionado.

Figura 79

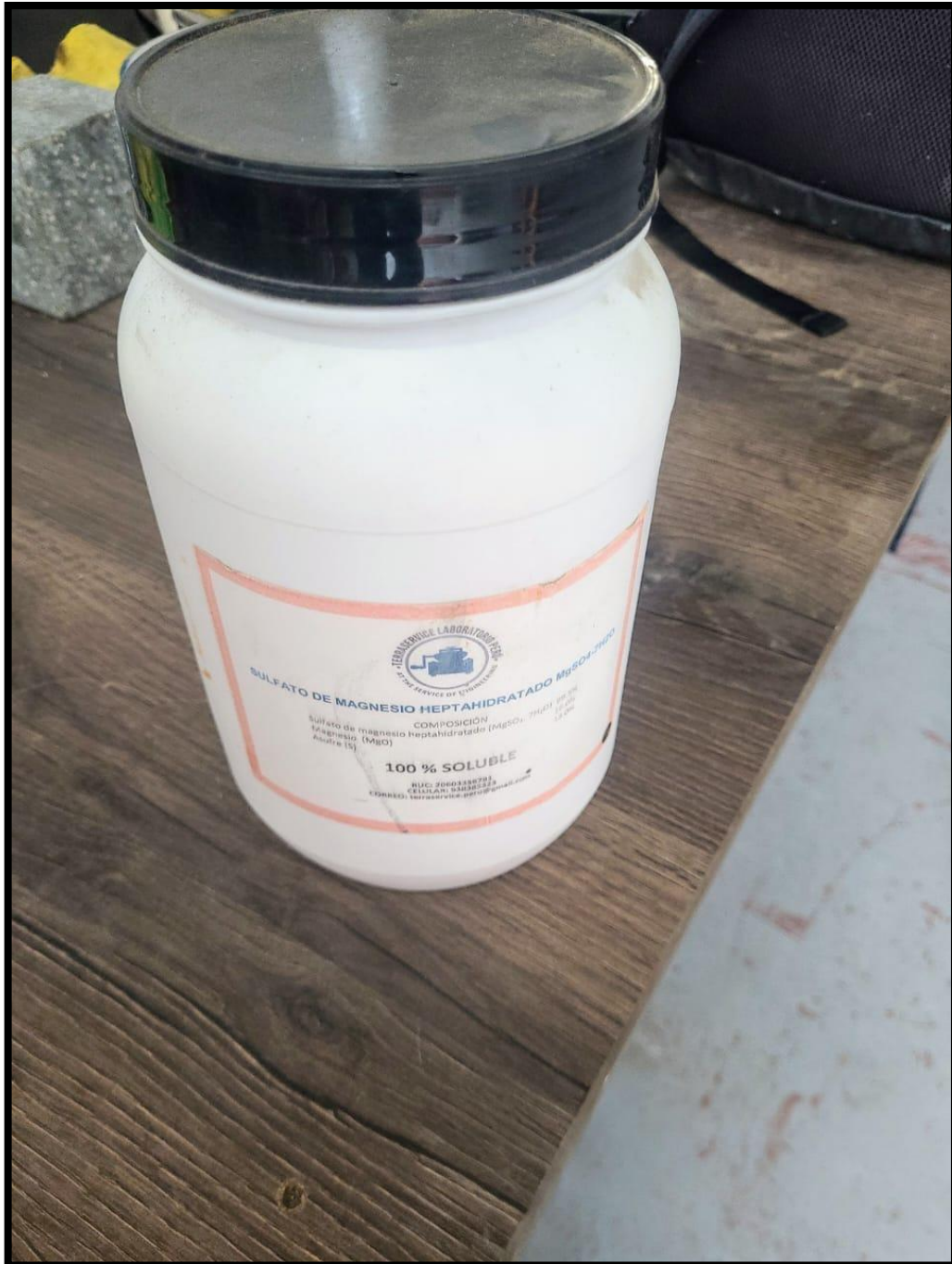
Cemento Tipo V para la Muestra Base sin Nanosilice



Nota. En esta figura se muestra el cemento Tipo V empleado como muestra patrón sin nanosilice.

Figura 80

Sulfato de Magnesio que se usó para la Prueba de Resistencia a Sulfatos



Nota. En esta figura se muestra el sulfato de magnesio usado para probar la resistencia a sulfatos de las muestras, se usó una concentración de 9999 ppm (severa).

Figura 81

Análisis Granulométrico



Nota. En esta figura se muestra el desarrollo del tamizado de los agregados.

Figura 82

Peso de Aditivos en Proporción al Cemento



Nota. En esta figura se muestra el peso de los aditivos para empezar con el diseño de mezcla

Figura 83

Asentamiento de los Diseños de Mezcla



Nota. En esta figura se muestra el llenado del cono de Abrams para determinar el asentamiento de la mezcla.

Figura 84

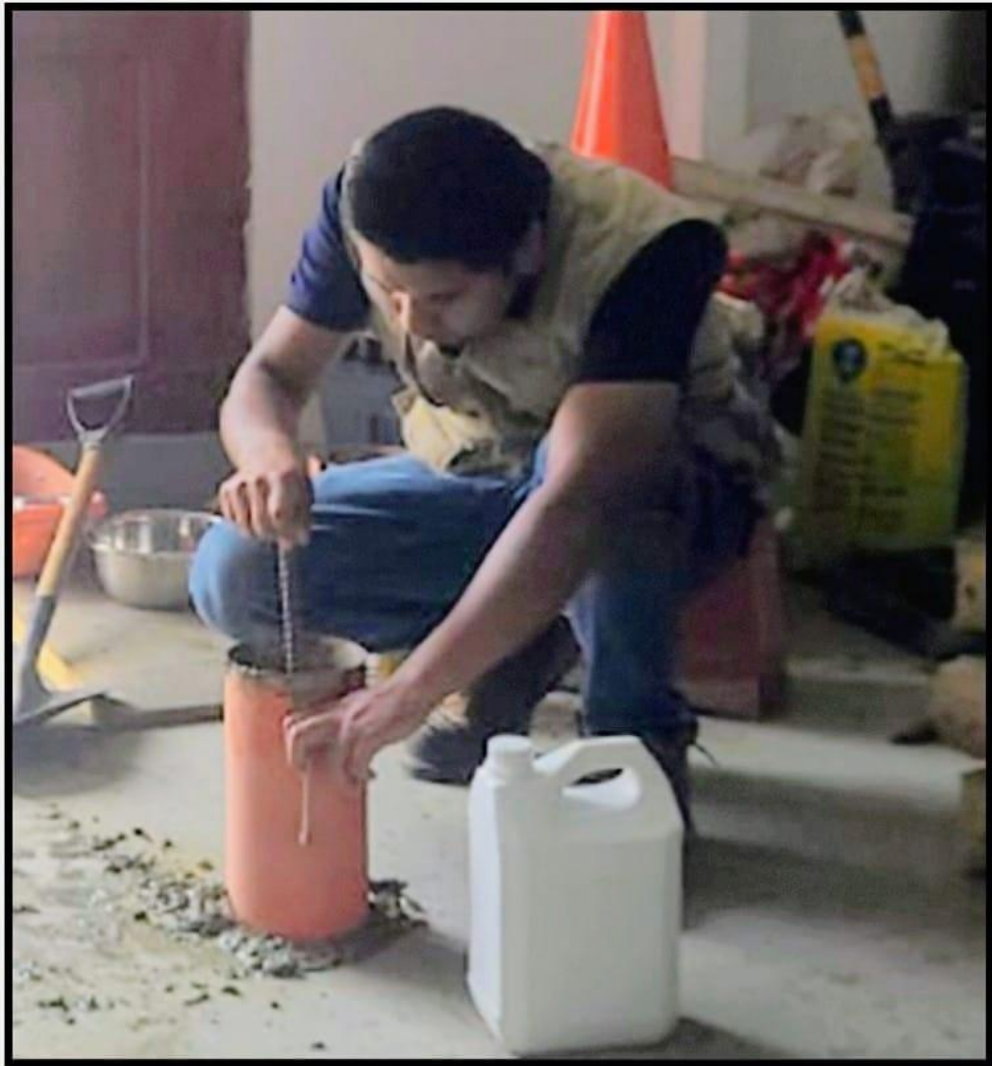
Asentamiento de los Diseños de Mezcla



Nota. En esta figura se muestra el llenado del cono de Abrams para determinar el asentamiento de la mezcla.

Figura 85

Llenado de Probetas



Nota. En esta figura se muestra el llenado de las probetas de 200 x 100 mm, en este caso se llenaron 124 probetas, las que se desencofraron a las 24 horas. Las muestras desencofradas fueron curadas, siguiendo los estándares de calidad.

Figura 86

Sulfato de Magnesio



Nota. En esta figura se muestra, la obtención de sulfato de magnesio que se aplicó a las muestras en una concentración severa, luego de que las muestras fueran curadas por un periodo de 14 días.

Figura 87

Peso del Sulfato de Magnesio



Nota. En esta figura se muestra el pesado de sulfato de magnesio que fue se inmergido en agua en una concentración de 9999 ppm para determinar las pérdidas de resistencia de las muestras por un ataque severo de sulfatos.

Figura 88

Ensayo de Succión Capilar para determinar la Absorción de Líquidos de las Muestras



Nota. En esta figura se muestra la colocación de muestras partidas por la mitad al horno para determinar la succión capilar de estas.

Figura 89

Ensayo de Resistencia a la Compresión



Nota. En esta figura se muestra el ensayo de resistencia a la compresión el que se ha realizado a los 7, 14 y 28 días a 32 muestras.

Figura 90

Ensayo de Resistencia a la Compresión



Nota. En esta figura se muestra el ensayo de resistencia a la compresión el que se ha realizado a los 7, 14 y 28 días a 32 muestras.

Figura 91

Ensayo de Resistencia a la Compresión a Muestras Sumergidas a Sulfatos



Nota. Esta representación ilustración evidencia el ensayo de resistencia a la compresión de muestras sometidas a sulfatos severos, realizado a los 7, 14 y 28 días a un total de 32 muestras sumergidas, tras un proceso de curación tradicional de 14 días. Se realiza una comparación entre 32 muestras que han sido curadas sin expansión a sulfatos, extraídas a los 21, 28 y 42 días, con el objetivo de evaluar la pérdida de resistencia a la compresión ocasionada por un ataque severo de sulfatos al concreto.