



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y
28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES DE
2%, 2,5%, 3%, Y 3,5%”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

HELEN NINOSKA MARCIAL MATÍAS
ISRAEL FERNANDO NAVARRETE MATA

TUTOR:

ING. RICHARD IVAN RAMÍREZ PALMA Mg.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24
MPA Y 28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN
PORCENTAJES DE 2%, 2,5%, 3%, Y 3,5%”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

**HELEN NINOSKA MARCIAL MATÍAS
ISRAEL FERNANDO NAVARRETE MATA**

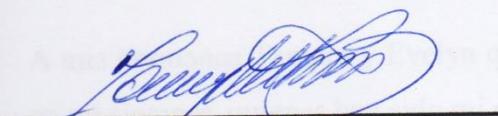
TUTOR:

ING. RICHARD IVAN RAMÍREZ PALMA Mg.

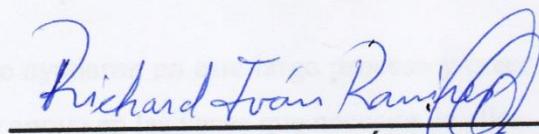
LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

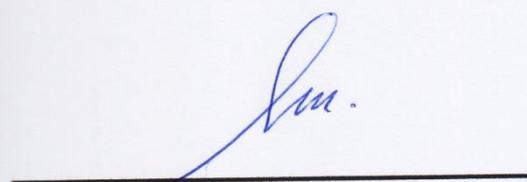
TRIBUNAL DE SUSTENTACION



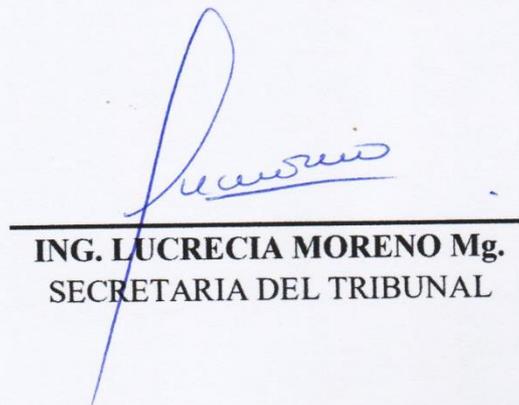
ING. JONNY VILLO MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA



ING. RICHARD RAMÍREZ Mg.
DOCENTE TUTOR



ING. ALEJANDRO VÉLIZ PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA



ING. LUCRECIA MORENO Mg.
SECRETARIA DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Con el corazón lleno de regocijo al rey de reyes, dedico este trabajo a Dios, por haberme dado la dicha que desde el día uno que empecé este camino me ha otorgado el privilegio de tener la presencia de un ser sublime mi Madre la señora Consuelo Matías a quién le dedico esta victoria, quién ha sido mi mayor fuente de motivación, inspiración y las fuerzas que siempre necesité para culminar esta etapa de mi vida.

A mis hermanas Tamara y Evelyn que me ayudaron en este largo proceso y creer en mí siempre, quienes han sido mi guía y apoyo en las veces que necesite de ellas.

Dedico este logro a mi familia por ayudarme a cumplir con esta meta tan anhelada, y sin dejar de mencionar a una persona maravillosa en mi vida que ha contribuido mucho en este proceso Joseph F., por confiar en mis sueños y en lo que anhelo.

Helen Marcial M.

El presente trabajo de investigación va dedicado para mi Señor Jesucristo, sin su dirección y entendimiento no hubiera sido posible terminar esta etapa universitaria, que no fue nada fácil por las distintas dificultades por las que tuve que pasar, sin embargo, en todo momento Él ha estado ahí, inclusive, hasta el último momento en la elaboración del presente documento.

Dedico también, este trabajo, a mis sobrinos: Aarón V., Ezequiel N. y Lucas V., quienes son un gran motivo para mi seguir adelante y su vez, tratar de dejar un ejemplo y testimonio para ellos.

Y una dedicación en especial para allá en el cielo, a Carlos (abuelo), Anita (abuela), y María Sol (hermana).

Israel Navarrete M.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

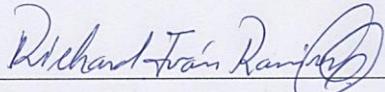
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La Libertad, 4 de Agosto del 2022

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y 28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES DE 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%”**, elaborado por los estudiantes el estudiantes Marcial Matías Helen Ninoska y Navarrete Mata Israel Fernando, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 4% de la valoración permitida.

Adjunto mi reporte de solicitud.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Richard Iván Ramírez Palma MSc.

C.I.: 0912246451

Document Information

Analyzed document	Tesis Helen Marcial - Israel Navarrete.docx (D142664242)
Submitted	2022-08-04 22:53:00
Submitted by	
Submitter email	israel.navarremata@upse.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	rramirez.upse@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA / TESIS NANOSILICE FINAL.docx Document TESIS NANOSILICE FINAL.docx (D126209874) Submitted by: gregorio.basurtobasurto@upse.edu.ec Receiver: lmoreno.upse@analysis.arkund.com	 6
SA	Tesis AditivosHormigon abril2015.docx Document Tesis AditivosHormigon abril2015.docx (D13947154)	 2
SA	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA / Tesis Nanosilice Basurto Gonzalez.docx Document Tesis Nanosilice Basurto Gonzalez.docx (D126308674) Submitted by: lmoreno@upse.edu.ec Receiver: lmoreno.upse@analysis.arkund.com	 3
W	URL: https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23483/1/Tesis%201025%20-%20N%C3%BA%C3%B1ez%20Meneses%20Johana%20Lizbeth.pdf Fetched: 2021-01-20 02:59:24	 1
SA	TESIS ANDRADE-SANCHEZ.pdf Document TESIS ANDRADE-SANCHEZ.pdf (D120747525)	 1
SA	20190812 Mancheno Mateo & Salazar Brian.pdf Document 20190812 Mancheno Mateo & Salazar Brian.pdf (D54789115)	 1
W	URL: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/22697/1/T-UCE-0011-ICF-284.pdf Fetched: 2021-12-02 06:22:10	 1

Entire Document

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El estudio de la nanotecnología aplicada en el ámbito de los materiales de construcción da paso a desarrollar nuevos compuestos que optimizan el desempeño y rendimiento en mezclas de concreto. De acuerdo con Brace y Garcia-Taengua (2018, p. 45) *

las posibilidades que ofrece la incorporación de nanopartículas a sistemas cementicios van desde la mejora de propiedades mecánicas y durabilidad, hasta sus propiedades

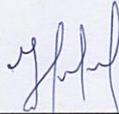
DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

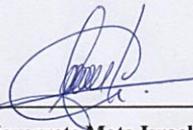
Nosotros, MARCIAL MATÍAS HELEN NINOSKA y NAVARRETE MATA ISRAEL FERNANDO, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y 28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES DE 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Marcial Matías Helen Ninoska
Autora de Tesis
C.I.: 2450287194



Navarrete Mata Israel Fernando
Autor de Tesis
C.I.: 240022218

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

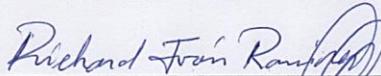
Ing. Richard Ramírez MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y 28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES DE 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por la Srta. Marcial Matías Helen Ninoska y el Sr. Navarrete Mata Israel Fernando, egresados de la carrera de ingeniería Civil, de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

TUTOR



Ing. Richard Iván Ramírez Palma MSc.

Tutor

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

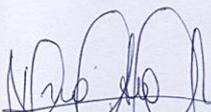
*Magister En Diseño Y Evaluación
De Modelos Educativos*

La Libertad, agosto 01 de 2022.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de Ingeniero Civil de **MARCIAL MATÍAS HELEN NINOSKA y NAVARRETE MATA ISRAEL FERNANDO**, cuyo tema es: **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y 28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES DE 2%, 2,5%, 3%, Y 3,5%”** me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Javier Herrera Reyes, MSc.
Docente de Español A: Literatura
Cel: 0962989420
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Dios y la Virgen de Guadalupe quienes me dieron la sabiduría para culminar esta etapa tan importante en mi vida y quienes han sido los protagonistas de mi vida.

A mi Madre por haberme brindado su amor incondicional que gracias a sus oraciones de todos los días y sus bendiciones me mantuvieron llena de vida y con ganas de luchar día a día.

Agradezco a la Universidad Estatal Península de Santa Elena quien me permitió crecer profesionalmente y que gracias a todos los conocimientos que impartieron sus docentes me ayudaron para esta formación.

Al Ing. Richard Ramírez por haber servido de tutor quien estuvo siempre puesto a impartir sus conocimientos de manera desinteresada, que gracias a su paciencia y perseverancia culminamos este proceso satisfactoriamente.

Agradezco a la Ing. Lucrecia Moreno por ser la maestra y guía de este proceso de titulación por su comprensión y paciencia.

A mi compañero y gran amigo de Tesis Israel Navarrete quien me permitió compartir esta experiencia junto a él, gracias por la confianza y el gran aporte y empeño que le dedico a este trabajo.

Al Señor Laboratorista Roger Magallanes por su aporte para este trabajo de titulación que gracias a su colaboración se ejecutaron los ensayos de laboratorio.

A los compañeros de laboratorio quien nos ayudaron en varias ocasiones en los ensayos de laboratorio al Rafael O., Alex C.

A mis amigos que la universidad me regaló Doménica L., Dave G., Ronaldo S, Carolina G., y Lisbeth R., con quienes inicié la carrera y la culminé, con su ayuda y apoyo constante.

Helen Marcial M.

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa, que quizás en algún momento pensé que iba a ser imposible, pero confiando en Él y perseverando con Él, todo lo es posible.

A mi mamá Patricia Mata, a mi hermano y hermana, a mi cuñado y mi cuñada, porque independientemente de las diferencias, me han ayudado y me seguirán ayudando, porque eso es lo que nos caracteriza como familia.

Al Dr. Fausto Espinoza y la Dra. Grace Calderón, quienes me han ayudado tanto, de una forma tan desinteresada y como si fuera uno más de sus hijos, y ellos, un padre más y una madre más, para mí.

Al Dr. Juan Rosero, por esa ayuda continua que me ha brindado desde marzo del 2016 y hasta ahora sigue siendo un buen amigo y un excelente profesional.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena quien me ha permitido formarme profesionalmente, gracias a los conocimientos impartidos dentro del aula de clases y que fueron la pauta para poder llevar a cabo este proyecto de investigación.

Al Ing. Richard Ramírez, por ser ese docente y amigo, quien siempre estuvo presto, de una forma desinteresada, a escucharnos y ayudarnos en nuestras dudas o desconocimientos, con mucha tolerancia y con mucha paciencia.

A la Ing. Lucrecia Moreno, quien aparte de docente y guía para la presentación de este documento, también fue una amiga y una madre para cuando lo necesité, ayudándome de una forma desinteresada y comprensiva.

A mi querida compañera de tesis, Helen Marcial, por haberme contestado el celular y habernos puesto de acuerdo para la elaboración de la presente investigación, sin su ayuda y conocimiento, no hubiera sido posible culminarlo.

Al Laboratorista Roger Magallanes, a mis buenos amigos y futuros colegas, Rafael Ortiz, Alex Choez y Lester Guaranda por la ayuda y el aporte en la elaboración de los ensayos de laboratorio.

Israel Navarrete M.

CONTENIDO

	Pág.
Contenido	
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.2. ANTEDECENTES	4
1.3. HIPÓTESIS	5
1.3.1. Hipótesis general.....	5
1.3.2. Hipótesis específicas	6
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo General	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. ALCANCE	7
1.6. VARIABLES.....	7
1.6.1. Variables Dependientes.....	7
1.6.2. Variables Independientes	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. MATERIALES	8
2.2. HORMIGÓN.....	8
2.2.1. Hormigón de peso normal.....	9
2.2.2. Hormigón convencional.....	13

2.2.3. Hormigón armado.	13
2.3. COMPONENTES DEL HORMIGÓN	13
2.3.1. Cemento.	14
2.3.2. Cemento Portland.....	14
2.3.3. Cemento Hidráulico.	16
2.3.4. Agua.	18
2.3.5. Aire.....	20
2.3.6. Agregados (Áridos).....	21
2.3.7. Aditivos.	22
2.4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO.....	27
2.4.1. Trabajabilidad.	27
2.4.2. Consistencia.	28
2.4.3. Fluidez.....	28
2.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	28
2.5.1. Resistencia a la compresión.	28
2.5.2. Módulo de rotura.....	29
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	30
3.1.1. Tipo.	30
3.1.2. Nivel.....	30
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
3.2.1. Método.	30
3.2.2. Enfoque.	31
3.2.3. Diseño.	31
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	31
3.3.1. Población.....	31
3.3.2. Muestra.....	31
3.3.3. Muestreo.....	32

3.4. METODOLOGÍA DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
3.4.1. Metodología del objetivo específico 1: Caracterizar los constituyentes del hormigón con adición de Nanosílice.....	32
3.4.2. Metodología del objetivo específico 2: Verificar la declinación de la propiedad mecánica del hormigón a compresión.....	32
3.4.3. Metodología del objetivo específico 3: Analizar mediante una comparación entre hormigones y elaborar el precio unitario del costo-fabricación.....	33
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	34
3.6. ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	35
3.6.1. Fuentes de investigación.....	35
3.6.2. Programa Experimental.....	35
3.7. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	35
3.7.1. Ubicación y característica de los agregados.....	36
3.7.2. Ensayos de propiedades Físicas y Mecánicas de los agregados.	36
3.7.3. Propiedades de hormigón endurecido.....	48
3.7.4. Propiedades del cemento.....	52
3.7.5. Nanosílice (SiO ₂).....	54
3.7.6. Agua.....	55
3.8. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	56
3.8.1. Revenimiento.....	56
3.8.2. Determinación de contenido de Agua de la mezcla.....	57
3.8.3. Determinación de Relación Agua/Cemento.....	58
3.8.4. Determinación de Resistencia.....	59
3.8.5. Determinación de cantidad de cemento Portland.....	60
3.8.6. Determinación de la cantidad de áridos finos y gruesos.....	60
3.8.7. Volumen de agregado grueso.....	61
3.8.8 Volumen de agregado fino.....	62
3.8.9. Determinación de Nanosílice.....	63
3.9. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	63

3.9.1. Dosificación para hormigón patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	64
3.9.2. Dosificación para hormigón patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	64
3.9.3. Dosificación para hormigón patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	64
3.9.4. Diseño de mezcla de hormigón con porcentaje de 2% 2,5% 3% y 3,5% de Nanosílice en resistencia de 21 MPa, 24 MPa, y 28 MPa.	65
3.9.5. Proceso de llenado, compactado y curado	71
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO $F'C = 210$ KG/CM^2	73
4.1.1. Diseño patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	73
4.1.2. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	75
4.1.3. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	77
4.1.4. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	79
4.1.5. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	81
4.1.6. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice.....	83
4.2. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO $F'C = 240$ KG/CM^2	84
4.2.1. Diseño patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	84
4.2.2. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	86
4.2.3. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	88
4.2.4. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	90
4.2.5. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	92
4.2.5. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice.....	94
4.3. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO $F'C = 280$ KG/CM^2	95
4.3.1. Diseño patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	95
4.3.2. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	97
4.3.3. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	99

4.3.4. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	101
4.3.5. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	103
4.3.6. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice	105
4.4. RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN	106
4.4.1. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	106
4.4.2. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice	108
4.4.3. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	109
4.4.4. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice	111
4.4.5. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	112
4.4.6. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice	114
4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DOSIFICACIONES CON ESTUDIOS ANTERIORES.....	115
4.5.1. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa)	115
4.5.2. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ (24 MPa)	117
4.5.3. Diseño $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 MPa)	118
4.6. ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO.....	120
4.6.1. Análisis de precios unitarios patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	121
4.6.2. Análisis de precios unitarios patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	122
4.6.3. Análisis de precios unitarios patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	123
4.6.4. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	124
4.6.5. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	125
4.6.6. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,0% de Nanosílice	126
4.6.7. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	127

4.6.8. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	128
4.6.9. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	129
4.6.10. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	130
4.6.11. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	131
4.6.12. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	132
4.6.13. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	133
4.6.14. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	134
4.6.15. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	135
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
5.1. CONCLUSIONES	136
5.2. RECOMENDACIONES	137
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS	139
ANEXOS.....	145

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Aditivo Aerosil 200	24
Figura 2 Ubicación de la cantera Huayco	36
Figura 3 Curva Granulométrica para Agregado Fino	38
Figura 4 Curva Granulométrica para Agregado Grueso	38
Figura 5 Ensayos de granulometría.....	39
Figura 6 Ensayos de humedad y absorción de los agregados	42
Figura 7 Determinación de contenido total de humedad	44
Figura 8 Determinación de la masa unitaria	48
Figura 9 Roturas de cilindros sometidos a presión	50
Figura 10 Esquema de los modelos típicos de fractura.....	50
Figura 11 Roturas a flexión de vigas	51
Figura 12 Aditivo Aerosil 200	55
Figura 13 Ensayo del cono de Abrams	57
Figura 14 Cantidad de agregados para la mezcla.....	61
Figura 15 Proceso de elaboración de probetas de hormigón	72
Figura 16 Piscinas de curado	72
Figura 17 Curva de resistencia a la compresión del diseño Patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	74
Figura 18 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,0% de Nanosílice.....	76
Figura 19 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.....	78
Figura 20 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.....	80
Figura 21 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.....	82
Figura 22 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	83
Figura 23 Curva de resistencia a la compresión del diseño de hormigón $f'c=210$ Kg/cm^2	85
Figura 24 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.....	87
Figura 25 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.....	89
Figura 26 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.....	91
Figura 27 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice.....	93
Figura 28 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	94

Figura 29 Curva de resistencia a la compresión del diseño Patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$	96
Figura 30 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.....	98
Figura 31 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.....	100
Figura 32 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.....	102
Figura 33 Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice.....	104
Figura 34 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	105
Figura 35 Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$	107
Figura 36 Comportamiento a flexión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas.....	108
Figura 37 Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	110
Figura 38 Comportamiento a flexión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	111
Figura 39 Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	113
Figura 40 Comportamiento a flexión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas.....	114
Figura 41 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=21 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	115
Figura 42 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=21 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	116
Figura 43 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=24 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	117
Figura 44 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=24 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	118
Figura 45 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=28 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	119
Figura 46 Comportamiento a compresión del diseño $f'c=28 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas	120
Figura 47 Mezcla de del hormigón y posterior ensayo de revenimiento.	146
Figura 48 Fundición de cilindros de hormigón.....	146
Figura 49 Desencofrado y sumergimiento de las probetas de hormigón en las piscinas de curado.	146
Figura 50 Medición y posterior rotura de cilindro de hormigón.....	146

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Límites para sustancias deletéreas en Agregados Finos para concreto..	9
Tabla 2 Análisis de tamizado del Agregado Fino	10
Tabla 3 Requerimientos de tamizado en Agregados Gruesos.....	11
Tabla 4 Límites para sustancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los Agregados Gruesos para concreto	12
Tabla 5 Tipos de Cementos Portland	15
Tabla 6 Clasificación del cemento según su desempeño	17
Tabla 7 Datos técnicos del Cemento Holcim Fuerte Tipo GU	18
Tabla 8 Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento... ..	20
Tabla 9 Análisis granulométrico para árido fino según la norma NTE INEN 154	21
Tabla 10 Tipos de aditivos	23
Tabla 11 Porcentajes de hidratación del cemento con y sin Nanosílice.....	23
Tabla 12 Operacionalización de las variables	34
Tabla 13 Análisis Granulométrico para áridos finos.....	37
Tabla 14 Masa mínima de la muestra de ensayo.....	40
Tabla 15 Tamaño de la muestra de árido	43
Tabla 16 Capacidad de los moldes para ensayo de áridos	45
Tabla 17 Requisitos para los moldes.....	46
Tabla 18 Densidad del agua	46
Tabla 19 Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico	49
Tabla 20 Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes	49
Tabla 21 Requisitos físicos normalizados.....	52
Tabla 22 Valores referencias HOLCIM.....	53
Tabla 23 Análisis Químicos del cemento.....	53
Tabla 24 Composición del cemento	54
Tabla 25 Requisitos de los componentes minerales.....	54
Tabla 26 Datos físicos-químicos del Aerosil® 200	55
Tabla 27 Porcentajes de impurezas del agua.....	56
Tabla 28 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción	57
Tabla 29 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado	58
Tabla 30 Relación Agua/cemento	59
Tabla 31 Relación agua/cemento para cada diseño.....	59
Tabla 32 Desviación estándar en caso de que no existan datos	59
Tabla 33 Ecuación para determinar cantidad de cemento.....	60
Tabla 34 Cantidad de cemento para cada diseño	60
Tabla 35 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto	62
Tabla 36 Volumen de agregado fino.....	62
Tabla 37 Datos físicos-químicos.....	63
Tabla 38 Mezcla patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón	64
Tabla 39 Mezcla patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón	64
Tabla 40 Mezcla patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón	64

Tabla 41 Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	65
Tabla 42 Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	65
Tabla 43 Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	66
Tabla 44 Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	66
Tabla 45 Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	67
Tabla 46 Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	67
Tabla 47 Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	68
Tabla 48 Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	68
Tabla 49 Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	69
Tabla 50 Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	69
Tabla 51 Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	70
Tabla 52 Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón	70
Tabla 53 Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación	71
Tabla 54 Requisitos para determinar el método de compactación	71
Tabla 55 Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ Patrón	73
Tabla 56 Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	75
Tabla 57 Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	77
Tabla 58 Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	79
Tabla 59 Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	81
Tabla 60 Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ - Patrón.....	84
Tabla 61 Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,0% de Nanosílice	86
Tabla 62 Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	88
Tabla 63 Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	90
Tabla 64 Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	92
Tabla 65 Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ - Patrón.....	95
Tabla 66 Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice	97

Tabla 67 Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice	99
Tabla 68 Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice	101
Tabla 69 Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice	103
Tabla 70 Informe de roturas de vigas - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice.....	106
Tabla 71 Informe de roturas de vigas - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice.....	109
Tabla 72 Informe de roturas de vigas - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice.....	112

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND DE 21 MPA, 24 MPA Y
28 MPA CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN PORCENTAJES
DE 2%, 2,5%, 3%, Y 3,5%”

Autor: Helen Ninoska Marcial Matías

Israel Fernando Navarrete Mata

Tutor: Ing. Richard Iván Ramírez Palma MSc.

RESUMEN

La mezcla de hormigón con aditivos ha trascendido dentro de campo constructivo, la aplicación de la nanotecnología resulta beneficiosa ya que gracias a esta tecnología se ha obtenido nuevos materiales que ayudan a mejorar las propiedades mecánicas del hormigón, mediante este desarrollo se ha logrado evidenciar que la mezcla de nanopartículas con el hormigón actúan de manera favorable, alcanzando mejorar su durabilidad, trabajabilidad y resistencia, logrando de tal forma un gran aporte para la ingeniería civil, este estudio experimental tiene el propósito de determinar la influencia que tiene el Nanosílice en un hormigón de cemento portland tipo GU evaluando en las diferentes resistencias de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa su comportamiento mediante la adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3% y 3,5%. En el diseño experimental se ejecutaron los ensayos de laboratorio sometiendo las muestras a compresión y flexión como lo determina la norma ACI 211 en 3,7,14 y 28 días, realizando los patrones de controles para determinar si la implementación de este aditivo tiene efectividad en sus resistencias y si resulta beneficioso en sus costos de fabricación.

PALABRAS CLAVE: *Cemento Portland, Nanopartículas, Resistencias, Compresión, Flexión.*

“EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A
PORTLAND CEMENT CONCRETE OF 21 MPA, 24 MPA AND 28
MPA WITH THE ADDITION OF NANOSILICA IN
PERCENTAGES OF 2%, 2.5%, 3%, AND 3.5%”

Author: Helen Ninoska Marcial Matías

Israel Fernando Navarrete Mata

Tutor: Ing. Richard Iván Ramírez Palma MSc.

ABSTRACT

The mixture of concrete with additives has transcended the construction field, the application of nanotechnology is beneficial because thanks to this technology new materials have been obtained that help to improve the mechanical properties of concrete. Through this development it has been possible to demonstrate that the mixture of nanoparticles with concrete act in a favorable way, achieving a better durability. The purpose of this experimental study is to determine the influence of nanosilica on a GU-type portland cement concrete by evaluating the different strengths of 21 MPa, 24 MPa and 28 MPa its behaviour through the addition of nanosilica in percentages of 2%, 2,5%, 3% and 3,5%. In the experimental design, laboratory tests were carried out subjecting the samples to compression and flexion as determined by the ACI 211 standard in 3, 7, 14 and 28 days, carrying out the control standards to determine if the implementation of this additive is effective in its resistances and if it is beneficial in manufacturing costs.

KEYWORDS: *Portland cement, Nanoparticles, Resistance, Compression, Flexion.*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El estudio de la nanotecnología aplicada en el ámbito de los materiales de construcción da paso a desarrollar nuevos compuestos que optimizan el desempeño y rendimiento en mezclas de concreto. De acuerdo con Brace y Garcia-Taengua (2018, p. 45) “las posibilidades que ofrece la incorporación de nanopartículas a sistemas cementicios van desde la mejora de propiedades mecánicas y durabilidad, hasta sus propiedades fotocatalíticas”.

La fusión entre materiales tradicionales para una mezcla de hormigón y nanomateriales da como resultado una mejora en sus propiedades tales como durabilidad, rendimiento mecánico, conductividad térmica y eléctrica, etc., afirmándose que “el concreto puede ser nanomodificado mediante la incorporación de nanomateriales para controlar el comportamiento de sus agregados y adicionar nuevas propiedades” (Instituto Mexicano del Cemento y de Concreto, 2016, p. 18).

La presente investigación está basada en la implementación de Nanosílice (NS) como agregado independiente, con porcentajes del 2%, 2,5%, 3%, y 3,5% respectivamente, estos valores trabajaran con relación al agregado dependiente (Cemento Portland Tipo I GU de uso común), permitiendo evaluar las propiedades mecánicas a compresión y flexión de hormigones de uso convencional con dosificaciones de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa, mayormente utilizados dentro de los cantones de la Provincia de Santa Elena.

El objetivo de la investigación con la aplicación los porcentajes anteriormente mencionados es obtener información relevante y conocer en detalle la relación y compatibilidad entre ambos agregados: Nanosílice (agregado independiente) y la mezcla tradicional del hormigón (agregado dependiente), a su vez tomar de referencia las recomendaciones mencionadas en anteriores trabajos de investigación con relación a la incorporación de nanotecnologías en mezclas de hormigón, llevados a cabo por la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

La metodología de la investigación se llevó a cabo con la implementación de normas estandarizadas nacional e internacionalmente, entre ellas la Norma ACI 211, que establece los parámetros y requisitos para elaborar diseños de hormigones de acuerdo con las resistencias adoptadas en el presente caso de estudio, dando paso a un modelo matemático que permita encontrar la relación óptima entre el agua/cemento y la aplicación del Nanosílice.

Para el desarrollo eficaz en el área experimental y de interpretación de resultados, (Iizarbe Izquierdo et al., 2007, p. 11) establece que “una estrategia de experimentación muy común en la práctica científica es el enfoque de un factor a la vez”, es decir, consiste en la selección de un punto de partida o línea base, según cada factor para después variar continuamente según su rango, manteniendo constantes los factores restantes en el nivel base. Después de haber realizado todas las pruebas y/o ensayos correspondientes, estas se demuestran y materializan en una serie de gráficas demostrativas en las que se evidenciará la forma en que la variable de respuesta es afectada al variar cada factor conservando los demás factores constantes, asegurando las diferentes teorías planteadas dentro de la hipótesis de la investigación.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dentro del territorio sudamericano existe un factor natural característico con relación al resto de continentes, la misma se trata de una alta actividad sísmica, característica y condición adquirida al encontrarse ubicada dentro del conocido “cinturón de fuego del pacífico”, considerado como una de las áreas con mayor concentración de energía provocando la constante actividad sísmica a nivel mundial, dicha cualidad territorial conlleva a los habitantes del continente a buscar mejores alternativas para la durabilidad de las edificaciones o casas en las que habitan provocando que se genere una alta demanda de mezclas de hormigón con excelentes propiedades mecánicas, tales como trabajabilidad, ductilidad y una resistencia óptima para el desempeño al cual va a ser sometido, permitiendo mejorar la composición estructural de la infraestructura antes posibles eventos telúricos. (Jaimes et al., 2020, p. 6)

Entre los problemas de la mayoría de los países del mundo, dentro del ámbito de la construcción, es la producción de hormigones para uso convencional y de altas prestaciones, ya que estos deben de tener una resistencia que cumpla con lo requerido por la norma de diseño vigente, la cual establece el incremento de su resistencia conforme a un tiempo determinado hasta llegar a su nivel máximo, sin embargo, como lo describe (Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 15) “el bajo control de calidad de los materiales en su origen conlleva a una falta de homogeneidad en las propiedades de los mismos, no cumpliendo en muchos casos con las especificaciones del producto final, ni con las normativas existentes”, dificultando su trabajabilidad y disminuyendo su rendimiento ante posibles esfuerzos a los que serán sometidos.

Según (Gessa y Sancha, 2014, p. 6) “la sustitución del cemento a través de la incorporación de nanotecnologías en una mezcla de hormigón es una respuesta alternativa al limitado recurso natural con el que se cuenta para la producción del mismo”, es decir, en criterios de sostenibilidad, la incorporación de nanotecnologías en mezclas cementicias da paso a nuevos escenarios donde los materiales eco-amigables tienen una mayor preponderación, y a su vez, prolonga el uso de materias primas, disminuyendo consigo las emisiones globales de dióxido de carbono (CO²) por el proceso de fabricación del cemento.

De acuerdo con (Brace y Garcia-Taengua, 2018, p. 14) “la Nanosílice es la nanopartícula que ha suscitado el mayor interés en cuanto a su aplicabilidad en hormigones”, esto debido a su finura y el alto contenido de sílice, dando paso a un efecto puzolánico en la mezcla. La importancia de incorporar este tipo de nanotecnologías da paso a alternativas de elección en el proceso de elaboración de mezclas de hormigón según el desempeño constructivo al cual se lo va a someter.

En la actualidad, el Ecuador está en constante innovación la industria de la construcción, haciendo uso de nanotecnologías que permitan desarrollar hormigones nanomodificados, con propiedades mecánicas mejoradas y que cumplan un rol fundamental dentro de las alternativas eco-amigables al momento de construir.

Dentro de la Provincia de Santa Elena, ante su eventual crecimiento económico y habitacional, se propone el uso de nanomateriales, como lo es el Nanosílice, con porcentajes que fluctúan entre el 2%, 2,5%, 3% y 3,5%, como alternativa al método convencional en el proceso de elaboración de mezclas cementicias, considerando que las dosificaciones mayormente utilizadas dentro del territorio son de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa. (Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 16)

¿Cuál sería el comportamiento mecánico a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días, como lo recomienda la Norma ACI 211, de un hormigón de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa, con adición de Nanosílice al 2,0%, 2,5%, 3,0% y 3,5%, en comparación con hormigones de uso convencional sin uso de aditivos, y su respectivo análisis de costos unitarios?

1.2. ANTEDECENTES

La nanotecnología, hoy en día, es un campo de rápida expansión que desempeña un papel trascendental dentro de la sociedad, cambiando el estilo de vida constantemente, en campos como: energía, medioambiente, medicina, transporte, construcción, telecomunicaciones, entre otras; trae consigo un gran desafío con alta complejidad de por medio en las ciencias teóricas y experimentales, lo cual también significa que proporciona una oportunidad para la innovación y el desarrollo sustentable, desde el punto de vista constructivo. (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021, p. 17)

El constante crecimiento económico y poblacional a nivel mundial ha conllevado que la industria de la construcción se encamine por alternativas eco-amigables en los procesos de elaboración de concretos, esto va de acuerdo con lo mencionado por (Jaimes et al., 2020, p. 8), donde establece que “debido a la alta demanda de materias primas y a los limitados recursos naturales con los que se cuentan para la generación de los mismos, la industria de la construcción apuesta por la innovación de nuevos materiales, como también compuestos y aditivos que contrarresten el uso exclusivo de algún material”.

De acuerdo con el Instituto Mexicano del Cemento y de Concreto (2016, p. 18) “el concreto puede ser nano modificado mediante la incorporación de nano-materiales

para controlar el comportamiento de los materiales y adicionar nuevas propiedades, o mediante la modificación de moléculas en las partículas de cemento, agregado y aditivos para aportar nuevas funcionalidades”, es decir la utilización de nanotecnología en los procesos constructivos permiten una mejora del hormigón, esto dependerá de la tipología de resistencia y la aplicación para el cual estará diseñado.

(Muñoz Pérez et al., 2021, p. 6) describe que “el uso de la Nanosílice acelera la consolidación de las partículas e incrementa la densidad por llenado del espacio de vacíos entre partículas, lo mencionado se va a materializar a través de la resistencia mecánica y durabilidad del concreto”, es decir, la mejora del compuesto cementicio será evidente según la evaluación de las propiedades mecánicas a las cuales sean sometidas, afirmando que “debido a su elevado contenido en sílice y su finura, tiene un efecto puzolánico, lo que conllevaría a un aumento de la resistencia a compresión”. (Brace y Garcia-Taengua, 2018, p. 6)

En el Ecuador, el uso de nanomateriales para el proceso de elaboración de mezclas de hormigón está ampliándose, esto debido a la favorable respuesta que se obtiene con el uso de este tipo de nanotecnología, sin embargo, existe poca información científica que corrobore su utilización dentro del ámbito constructivo dentro del territorio ecuatoriano. En la Provincia de Santa Elena, no se hace uso de este tipo de nanotecnologías para la elaboración de hormigones, por lo que es necesario llevar a cabo los estudios correspondientes con su parte experimental en mezclas convencionales de hormigón mayormente utilizadas en territorio, permitiendo generar suficiente sustento técnico sobre la utilización de este tipo de nanomateriales, la cual mantiene como primer principio el incremento de la resistencia del hormigón sometido a compresión mediante su uso. (Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 18)

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

La adición de nanotecnologías en diseños de mezclas de hormigón será capaz de desarrollar una mejoría en sus propiedades mecánicas tales como la resistencia a la compresión y su trabajabilidad en obra.

1.3.2. Hipótesis específicas

H.E1.: El uso de Nanosílice como aditivo en diseños de hormigón de 21 MPa, 24MPa y 28 MPa, en porcentajes variables del 2%, 2,5%, 3% y 3,5%, influirá favorablemente en sus propiedades mecánicas a compresión.

H.E2.: La estimación de costos en la elaboración de hormigones convencionales y con adición de Nanosílice se representará de acuerdo con el análisis de precios unitarios correspondientes, considerando el costo-beneficio en la utilización de este tipo de nanotecnologías.

H.E3.: La demostración del comportamiento del hormigón sometido a resistencia a la compresión evidenciará cuan favorable es o no el incremento del Nanosílice en el diseño propuesto.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Obtener el diseño del hormigón de cemento portland tipo GU de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.

1.4.2. Objetivos específicos

O.E1.: Caracterizar los constituyentes del hormigón con adición de Nanosílice en porcentajes del 2%, 2,5%, 3%, y 3,5% para la evaluación de su uso.

O.E2.: Verificar la declinación de la propiedad mecánica del hormigón a compresión, observando si su déficit disminuye o aumenta con respecto al incremento del porcentaje de Nanosílice.

O.E3.: Analizar mediante una comparación entre hormigones de altas resistencias y hormigones de uso convencional nano-modificados por medio de la implementación del Nanosílice y elaborar el precio unitario del costo-fabricación de los mismos.

1.5. ALCANCE

El presente caso de estudio se dirige a observar el comportamiento de las propiedades mecánicas de hormigones con adición de Nanosílice, esta adición no alterará las condiciones físicas o químicas del hormigón.

La elaboración de las mezclas de hormigón estará sujeta a resistencias establecidas de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa, y en cada resistencia se utilizarán porcentajes de adición de Nanosílice, las cuales están definidas en 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.

Los ensayos a compresión en cilindros y flexión en vigas, correspondientemente, se someterán a prueba de acuerdo con lo establecido en la norma ACI 211, donde se establecen los parámetros para llevar a cabo las roturas según las edades en cada dosificación para luego hacer la demostración a través de tablas y gráficas.

En este trabajo de investigación no se abarcará los ensayos de durabilidad, impermeabilidad, contenido de aire, resistencia a tracción, retracción hidráulica y módulo de elasticidad.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Dependientes

Mezcla convencional de hormigón de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa utilizando cemento Portland tipo GU.

1.6.2. Variables Independientes

Porcentaje de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. MATERIALES

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HM 2015, p. 25) define a un material de construcción como “cualquier producto procesado o fabricado destinado a ser incorporado con carácter permanente en cualquier obra, sea de edificación o de ingeniería civil”.

De igual forma, determina los siguientes parámetros que deben de cumplir los distintos materiales destinados a la construcción:

- ✓ Resistencias mecánicas acordes con el uso que recibirán. (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Estabilidad química (resistencia a agentes agresivos). (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Estabilidad física (dimensional). (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Seguridad para su manejo y utilización. (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Protección de la higiene y salud de obreros y usuarios. (NEC 2015, p. 25)
- ✓ No conspirar contra el ambiente. (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Aislamiento térmico y acústico (colaborar en el ahorro de energía). (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Estabilidad y protección en caso de incendio (resistencia al fuego). (NEC 2015, p. 25)
- ✓ Comodidad de uso, estética y economía. (NEC 2015, p. 25)

2.2. HORMIGÓN

De acuerdo con (Guevara et al., 2012) el concreto (hormigón) “es un material que se obtiene de una mezcla de componentes: conglomerante (cemento), agregados (arena y piedra), agua y, de manera opcional, aditivos”. Según su uso, las proporciones de sus componentes variaran de acuerdo con las especificaciones técnicas de diseño.

Entre sus principales características esta su maleabilidad, trabajabilidad, durabilidad y resistencia, permitiendo acoplarse a distintas obras de construcción

en las que sea empleado; por lo general, se lo evalúa en función a su resistencia a la compresión. (Zambrano Navarrete et al., 2022)

2.2.1. Hormigón de peso normal.

La (NEC 2015, p. 11) establece que un hormigón de peso normal es un “hormigón que contiene agregados que cumplen con lo especificado en ASTM-C33”. La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM C 33, 2003, p. 1) es una norma que define “los requerimientos de granulometría y la calidad de los agregados finos y gruesos (diferente de los agregados livianos o pesados) para usarse en el concreto”.

En la Tabla 1, se detallarán los límites establecidos de acuerdo con esta especificación, para las sustancias deletéreas en agregados finos para concreto.

Tabla 1

Límites para sustancias deletéreas en Agregados Finos para concreto

Ítem	Porcentaje Masa de la Muestra Total, máx.
Terrones de Arcilla y Partículas Quebradizas	3.0
Material más fino de 75µm (Tamiz No. 200)	
Concreto sujeto a Abrasión	3.0 ^A
Todos los otros Concretos	5.0 ^A
Carbón y Lignito:	
Donde la apariencia de la Superficie del Concreto es importante	0.5
Todos los otros Concretos	1.0

^A En el caso de la arena manufacturada, si el material más fino de los 75µm (Tamiz N° 200) consiste en polvo fracturado, esencialmente libre de arcilla o sedimentos arcillosos, estos límites pueden incrementar hasta 5% y 7%, respectivamente.

Nota: Muestra los límites para sustancias deletéreas en agregados finos para concreto. (ASTM C 33, 2003, p. 6)

“El *Agregado Fino y Tamizado* consistirá en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. El agregado fino, con excepción a lo proveído en las siguientes dos literales, deberá estar graduado dentro de los siguientes límites”. (ASTM C 33, 2003, p. 8)

La Tabla 2 define el análisis del tamizado para los agregados finos que se van a utilizar dentro de una mezcla de concreto, determinando los porcentajes pasantes de acuerdo con la abertura correspondiente de los tamices.

Tabla 2

Análisis de tamizado del Agregado Fino

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Los concretos con agregado fino de granulometría cercana a los mínimos del porcentaje pasando mostrado anteriormente para el tamiz 300 µm (No. 50) y 150 µm (No. 100) pueden algunas veces tener dificultades con la trabajabilidad o excesivo sangrado. La adición de un inclusor de aire, cemento adicional, o la adición mineral aprobada para suministrar la deficiencia de finos, son métodos usados para aliviar tales dificultades.

Nota: Muestra de análisis por tamizado de agregados finos para concretos. (ASTM C 33, 2003, p. 8)

“El *Agregado Grueso y Tamizado* consistirá principalmente de grava, grava triturada, escoria de alto horno enfriada al aire, o concreto de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos, conforme a los requerimientos de esta especificación” (ASTM C 33, 2003, p. 12)

A continuación, en la Tabla 3 se determinan las aberturas de los tamices por los que debe de pasar la muestra de agregado grueso, y así cumplir según su tamaño de acuerdo con los que establece la Norma ASTM C 33, para posterior realizar su análisis por granulometría permitiendo establecer cuál el tamaño máximo nominal de dicha muestra con la que se trabajara en el diseño de hormigón que se proponga, a su vez, en la Tabla 4 se establecen los límites y requerimientos de las propiedades físicas de los agregados gruesos de acuerdo con el tipo de localización del concreto de construcción, esto con base en la determina la Norma ASTM C 33.

Tabla 3*Requerimientos de tamizado en Agregados Gruesos*

Número de tamaño	Tamaño Nominal (Tamices con abertura cuadrada)	Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio (Abertura Cuadrada), Porcentaje Masa												
		100	90	75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
		mm. (4 pulg.)	mm. (3 ½ pulg.)	mm. (3 pulg.)	mm. (2 ½ pulg.)	mm. (2 pulg.)	mm. (1 ½ pulg.)	mm. (1 pulg.)	mm. (¾ pulg.)	mm. (½ pulg.)	mm. (⅜ pulg.)	mm. (No. 4)	mm. (No. 8)	mm. (No. 16)
1	90 a 37.5 mm.	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm.	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm.	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm.	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm.	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm.	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	15 a 12.5 mm.	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 40	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm.	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm.	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm.	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm.	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.745 mm.	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm.	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

Nota: Muestra los requerimientos para el tamizado de los agregados grueso. (ASTM C 33, 2003, p. 7)

Tabla 4

Límites para substancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los Agregados Gruesos para concreto

Designación de clase	Tipo de localización del concreto de construcción	Máximo permisible (%)						
		Terrones de arcilla y partículas quebradizas	Chert ^c (menor del 2.4% sp gr ssd)	Suma de terrones de arcilla, partículas quebradizas y chert (menor de 2.4% sp gr ssd) ^c	Material más fino 75 µm (tamiz no. 200)	Carbón y lignito	Abrasión ^a	Expansión por sulfato de magnesio (5 ciclos) ^b
Región de Temperización Severa								
1S	Fundaciones, columnas y vigas no expuestas al clima, lozas interiores cubiertas.	10.0	...	...	1.0 ^D	1.0	50	...
2S	Pisos interiores sin cubierta	5.0	...	...	1.0 ^D	0.5	50	...
3S	Paredes e fundación de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización.	5.0	5.0	7.0	1.0 ^D	0.5	50	18
4S	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garaje, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente.	3.0	5.0	7.0	1.0 ^D	0.5	50	18
5S	Concreto Arquitectural expuesto	2.0	3.0	3.0	1.0 ^D	0.5	50	18
Región de Temperización Moderada								
1M	Fundaciones, columnas, y vigas no expuestas al clima, lozas interiores cubiertas	2.0	...	...	1.0 ^D	0.5	50	...
2M	Pisos interiores sin cubierta	10.0	...	...	1.0 ^D	0.5	50	...
3M	Paredes de fundación, de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización.	5.0	8.0	10.0	1.0 ^D	0.5	50	18
4M	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garaje, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente.	5.0	5.0	7.0	1.0 ^D	0.5	50	18
5M	Concreto Arquitectural expuesto	3.0	3.0	5.0	1.0 ^D	0.5	50	18
Región de Temperización Despreciable								
1N	Lozas sujetas a tráfico abrasivo, puentes, pisos, pavimentos.	5.0	...	...	1.0 ^D	0.5	50	...
2N	Otras clases de concreto	10.0	...	...	1.0 ^D	1.0	50	...

Nota: Muestra los límites y requerimientos de las propiedades físicas de los agregados gruesos para concreto, continuación de la tabla 2.

(ASTM C 33, 2003, p. 11)

2.2.2. Hormigón convencional.

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762 2015, p. 5) determina al hormigón convencional como “un material compuesto que consiste esencialmente de un medio aglutinante en el que están embebidos partículas y fragmentos de áridos”, utilizado regularmente en diferentes tipos de construcción civil.

Por lo general, los materiales que lo componen son: cemento, agregado grueso, agregado fino y aditivos, estos últimos son dosificados de acuerdo con su peso, al igual que el agua que es dosificada por volumen.

2.2.3. Hormigón armado.

Según la norma (NTE INEN 1762 2015, p. 5), se denomina al hormigón armado como “un material compuesto de hormigón y varillas de refuerzo, generalmente de acero, dispuesto de manera que se asegure su acción conjunta”.

Por lo general, el hormigón armado, integra características esenciales de ambos elementos (hormigón y acero de refuerzo), complementado su trabajo en conjunto, en la distribución de fuerzas a flexión y compresión a las que serán sometidas de acuerdo con la utilización que se les dé en el área de la construcción.

2.3. COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Los componentes del hormigón son materiales inertes (agregado grueso y agregado fino) que, a través de una pasta endurecida generada de la mezcla de cemento y agua se mantienen unidos. Los agregados y la pasta se consideran elementos pasivo y activo de la mezcla respectivamente, el elemento activo (pasta) al endurecerse es el causante de la consistencia pétreo del hormigón. (Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 40)

El agua y el cemento destacan entre los elementos de mayor relevancia en una mezcla de hormigón porque son los componentes que originaran la reacción química para posterior solidificar el compuesto con el pasar del tiempo, mientras que los agregados (fino y grueso), coadyuvan en la resistencia y el volumen del hormigón.

2.3.1. Cemento.

El cemento es un material aglomerante que tiene la característica de endurecer (fraguar) cuando este entra en contacto con agua, de esta manera permite unir fragmentos minerales entre sí formando una masa sólida, la misma que da resistencia y durabilidad con el paso del tiempo. (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021)

De la Cruz (2018, p. 19) determina que “el cemento es uno de los materiales fundamentales en la elaboración del hormigón, se lo puede definir como un componente que posee propiedades adhesivas y cohesivas, que le da la capacidad de aglutinar fragmentos minerales formando un compacto”.

2.3.2. Cemento Portland.

El Cemento Portland es el componente básico del hormigón. La Norma (NTE INEN 1762 2015, p. 4) lo define como “cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda”.

El hormigón toma forma cuando las partículas del cemento portland con agua crean una pasta en unión con los agregados finos y gruesos para endurecerse. Por lo general, su composición está determinada por una combinación química estrechamente controlada de calcio, silicio, aluminio, hierro y otros elementos.

En la Tabla 5, se detallará los tipos de cementos de acuerdo con su tipo: puros, compuestos, y por desempeño; de igual forma las normas que lo regulan, tanto nacional como internacionalmente. En el Ecuador se suele considerar la utilización de los mismos según su desempeño.

a) Fabricación del Cemento Portland. La fabricación del cemento parte de la extracción en cantera de la materia prima que es la piedra caliza, estas piedras de gran tamaño son transportadas para ser trituradas, la caliza se muele junto con componentes minoritarios para formar un polvo muy fino más conocido como crudo o harina cruda. (2015, p. 38)

Tabla 5*Tipos de Cementos Portland*

	TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
PUROS	I	Uso común	152C	150
	II	Moderada resistencia a sulfatos Moderado calor de hidratación	152C	150
	III	Elevada resistencia inicial	152C	150
	IV	Bajo calor de hidratación	152C	150
	V	Alta resistencia a la acción de sulfatos	152C	150
Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire				
COMPUESTOS	IS	Portland con escoria de altos hornos	490C	595
	IP	Portland puzolánico	490C	595
	P	Portland puzolánico (cuando no se requieren resistencias iniciales altas)	490C	595
	I (PM)	Portland puzolánico modificado	490C	595
	I (SM)	Portland con escoria modificado	490C	595
	S	Cemento de escoria	490C	595
POR DESEMPEÑO	GU	Uso en construcción general	2380C	1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380C	1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2380C	1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380C	1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380C	1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380C	1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con árido álcali-reactivos				

Nota: Muestra la clasificación de cementos Portland según su tipo, tomada del Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón. (INECYC, 2007, p. 13)

El crudo se homogeniza en silos y posteriormente pasa por una torre de intercambio de calor y desciende por la misma iniciándose los procesos de deshidratación y descarbonatación (desprendimiento de CO₂) y la formación de óxido de calcio (CaO) a partir de carbonato de calcio (CaCO₃). (2015, p. 39)

El material es llevado al horno rotatorio donde es transformado en Clinker, a medida que se incrementa la temperatura hasta llegar aproximadamente a los 1450°C es ahí cuando paulatinamente se dan las reacciones químicas de clinkerización que implica la transformación de los óxidos de calcio, silicio, aluminio y hierro en los minerales de clinker. Los minerales formados son los responsables de las propiedades hidráulicas del cemento. (2015, p. 39)

A la salida del horno el clinker tiene un tamaño máximo entre 3 y 30 mm, con una temperatura alrededor de 1300°C; el proceso de enfriamiento debe ser inmediato ya que si se enfría lentamente se presenta óxido de magnesio (MgO) en forma cristalina, el cual al hidratarse aumenta su volumen y puede ocasionar problemas de desintegración cuando se utilice en hormigón. (2015, p. 39)

El clinker pasa por un proceso de enfriamiento para bajar su temperatura a 100°C, asegurando el estado vítreo. El clinker adquiere un color generalmente negro, centellante y duro se muele con yeso del 2 al 5%, con el objetivo de impedir el fraguado relámpago del cemento y regular la velocidad de endurecimiento del mismo. Es importante agregar yeso debido a que, si sólo se muele el clinker, al mezclarlo con agua fraguaría de manera inmediata y no permitiría su manipulación. El proceso de molienda se da en un molino de bolas hasta que el cemento alcance 1.1×10^{12} partículas por Kg para luego ser llevado a un silo de almacenamiento. (2015, p. 40)

2.3.3. Cemento Hidráulico.

Según Yagual et al. (2021, p. 14) el hormigón hidráulico “es una piedra artificial, catalogado como un material aglomerado, conformado por aire, agua, cemento hidráulico, agregados y en muchos casos aditivos, que al estar en estado plástico puede tomar diversas formas y este a su vez en estado endurecido puede resistir esfuerzos mecánicos y puede ser durable con el paso del tiempo”.

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 151 2010, p. 3) determina que el cemento hidráulico es “un cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua”.

De acuerdo con la (NEC 2015, p. 101), los cementos hidráulicos deben cumplir con los requisitos contemplados en las siguientes normas:

- * Cemento Portland de los tipos I a V, incluyendo los subtipos IA, IIA y IIIA, que cumplan con los requisitos contemplados en la norma NTE INEN 152 (ASTM C 150).

- * Cemento compuesto tipo IP cumplirá con los requisitos de la norma NTE INEN 490 (ASTM C 595).
- * Cementos clasificados de acuerdo con los requisitos de desempeño, según los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 2380 (ASTM C 1157).
- * Cementos para mampostería de acuerdo con los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 1806 (ASTM C 91).

a) Cemento Hidráulico Compuesto. La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 151 2010, p. 3) define al cemento hidráulico compuesto como “un cemento hidráulico que consistente de dos o más compuestos inorgánicos (uno de los cuales, por lo menos, no es cemento Portland o Clínter de cemento Portland), los cuales separadamente o en combinación contribuyen a mejorar las propiedades de resistencia del cemento (producido con o sin otros constituyentes, adiciones de proceso y adiciones funcionales, por molido conjunto u otra mezcla)”.

b) Tipología del cemento hidráulico y su nomenclatura. La norma NTE INEN 2380 (2011, p. 2) establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y su respectiva clasificación, de acuerdo con sus propiedades específicas sin considerar restricciones sobre su composición o la de sus constituyentes.

De acuerdo con su tipología, los cementos hidráulicos se clasifican de la siguiente forma, tal y como lo muestra la Tabla 6.

Tabla 6

Clasificación del cemento según su desempeño

	Tipo	Descripción
Por desempeño	GU	Para construcción en general.
	HE	Alta resistencia inicial.
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos.
	HS	Alta resistencia a los sulfatos.
	MH	Moderado calor de hidratación.
	LH	Bajo calor de hidratación.

Nota: Descripción del cemento según su desempeño. (Norma NTE INEN 2380, 2011).

- ✓ *Cemento Holcim Tipo GU*. De acuerdo con el Departamento Técnico de Holcim Ecuador S.A. (2022, p. 1), el Cemento Holcim Fuerte Tipo GU “está generalmente diseñado para todo tipo de estructuras y sus principales características son la resistencia, durabilidad y desempeño superior que cumplen y superan los estándares de la norma NTE INEN 2380”.

La Tabla 7 detalla los datos técnicos del Cemento Holcim Fuerte Tipo GU en comparación con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN 2380.

Tabla 7

Datos técnicos del Cemento Holcim Fuerte Tipo GU

	INEN 2380	Valor referencial HOLCIM
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0.8	0
Tiempo de fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	45	45
Inicial, no más de, minutos	420	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	...	4
Resistencia a la compresión, mínimo MPa		
1 día	...	...
3 días	13	17
7 días	20	22
28 días	28	30
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx	0.02	0.001
Resistencia a sulfatos, 6 meses	...	...

Nota: Valores referenciales del Cemento Holcim Fuerte Tipo GU. (Holcim Ecuador S.A., 2022)

2.3.4. Agua.

El agua desempeña uno de los papeles vitales en una mezcla de hormigón, la (NEC-SE-HM 2015, p. 104) define al agua como “el componente que se combina químicamente con el cemento para producir la pasta que aglutina las partículas del árido, las mantiene unidas y colabora en gran medida con la resistencia y todas las propiedades mecánicas del hormigón”.

Su importancia radica en que, para una mezcla de concreto, debe de estar libre de agentes perjudiciales para el hormigón como lo son aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias. De acuerdo con (Troyano, 2019, p. 11) “el agua requerida para hidratar el cemento durante el fraguado se denomina agua de fraguado”, dicha cantidad de agua de amasado debe ser superior a la de fraguado básicamente por las siguientes razones:

- * Se producen pérdidas de agua durante el amasado, transporte y puesta en obra del hormigón, así como por evaporación. (2019, p. 11)
- * Parte del agua de amasado es succionada por los áridos, en mayor cantidad cuanto menor sea su tamaño. (2019, p. 11)
- * El agua le proporciona movilidad a la masa de hormigón, facilitando la colocación en obra de ese hormigón. (2019, p. 11)

Se puede definir que el agua cumple con 2 funciones fundamentales en una mezcla de hormigón: actúa como agente de hidratación en la mezcla haciendo una reacción química con las partículas de cemento, y de acuerdo con a su cantidad, brindara la trabajabilidad correspondiente su uso en obra.

a) Relación Agua/Cemento. (Guevara et al., 2012, p. 2) define que “en esta relación agua/cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre”, con ello se puede afirmar que la resistencia de una mezcla de hormigón depende de la relación por peso del agua y el cemento.

La Tabla 8 define la relación agua/cemento para una mezcla de hormigón.

Tabla 8

Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento

A/C	f_c' (Kg/cm ²)
0.36	420
0.40	370
0.45	340
0.50	295
0.55	275
0.60	230
0.65	220
0.70	185
0.75	165
0.80	140

Nota: La tabla muestra la influencia de la relación agua/cemento en la resistencia del cemento, tomada del efecto de la variación agua/cemento en el concreto. (Guevara et al., 2012, p. 3)

2.3.5. Aire.

Mientras se está realizando el proceso de mezclado del hormigón, es normal la incorporación de aire en la misma, que posteriormente será librado mediante los procesos de compactación que se lleven a cabo en su colocación. Sin embargo, la extracción de todo ese aire incorporado es imposible y siempre queda atrapado dentro de la masa fraguada, por otro lado, también se incorporan burbujas de aire por medio de aditivos como parte del diseño de la mezcla del hormigón. (Bazán González y Holguín Vera, 2021, p. 32)

a) Contenido de aire. La Norma (NTE INEN 1762 2015, p. 3) lo define como “el volumen de vacíos de aire en el mortero u hormigón, excluido del ocupado por los poros de las partículas de agregado, usualmente expresado como un porcentaje del volumen total del mortero u hormigón”.

b) Aire atrapado. La Norma (NTE INEN 1762 2015, p. 3) establece que es “la cantidad de aire contenido en una mezcla después de ser compactada, generalmente burbujas de 1 mm o más de diámetro, de forma irregular”.

c) Aire incorporado. La Norma (NTE INEN 1762 2015, p. 3) lo delimita como “burbujas microscópicas de aire intencionalmente incorporadas por un aditivo en morteros u hormigones durante el mezclado, generalmente mediante el uso de un agente activo de superficie, generalmente burbujas entre 10 μm y 1 000 μm de diámetro, de forma esférica o aproximadamente esférica.

2.3.6. Agregados (Áridos).

De acuerdo con la norma (NTE INEN 1762 2015, p. 3) es “un material granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico”.

Por lo general, corresponden al 80% de la masa que compone una mezcla de hormigón, y el 70%-75% del volumen del mismo, estos valores podrán variar de acuerdo con el diseño de hormigón que se vaya a emplear. (Chuzón Villacorta y Ramírez Guevara, 2020, p. 18)

a) Agregado fino. La norma (NTE INEN 872 2011, p. 3) lo define como “árido que pasa por el tamiz de 9,5 mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75 μm (No. 200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz de 4,75mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200). La Tabla 9 establece la granulometría de que debe de cumplir la muestra de árido fino para una mezcla de hormigón.

Tabla 9

Análisis granulométrico para árido fino según la norma NTE INEN 154

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Nota: Muestra los límites del análisis granulométrico de áridos finos. (NTE INEN 872 2011, p. 3)

b) Agregado grueso. Para la Norma (NTE INEN 872 2011, p. 3) el agregado grueso es “un árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No. 4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4)”.

De acuerdo con (Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 31) “los áridos gruesos presentan mejores propiedades de adherencia con la pasta de cemento cuando son triturados, lo que les dota de aristas (los áridos con superficie redondeada tienen menor adherencia). Sin embargo, los cantos rodados de río presentan generalmente una mejor resistencia interna”.

La Tabla 3 de la pág. 29 establece la granulometría que debe de cumplir la muestra de áridos gruesos para una mezcla de hormigón, basado en la norma (ASTM C 33, 2003, p. 7).

2.3.7. Aditivos.

Según la Norma (NTE INEN 1672 2015, p. 2) un aditivo es un “producto químico, que no sea cemento Portland, árido o agua, utilizado eventualmente como un ingrediente del mortero u hormigón y que se añade antes o durante su mezclado para mejorar ciertas propiedades”.

La importancia de la incorporación de estos tipo de compuestos químicos es para mejorar su trabajabilidad en el momento de la colocación en obra, como también en la de su resistencia, de acuerdo con las características requeridas para el diseño de la mezcla de hormigón.

La Tabla 10 detalla los tipos de aditivos que existen acorde a las características, tanto en su estado plástico como en su estado endurecido de una mezcla de hormigón, cabe resaltar que, dentro del mercado se manejan con nombres comerciales diferentes, sin embargo, su compuesto es igual al detallado a continuación.

Tabla 10*Tipos de aditivos*

Tipo	Aditivo
A	Reductor de agua
B	Retardador de fraguado
C	Acelerador de fraguado
D	Reductor de agua y retardador
E	Reductor de agua y acelerador
F	Reductor de agua de alto rango
G	Reductor de agua de alto rango y retardador
S	Comportamiento específico

Nota: Muestra los tipos de aditivos químicos y sus principales características (ASTM C-494 2004).

a) Nanosílice. (Tobón et al., 2007, p. 3) lo define como “un aditivo que procede de las partículas micro finas de dióxido de silicio amorfo (SiO₂)”; de acuerdo con (Caballero Arredondo et al., 2021, p. 2), “reacciona con portlandita para producir gel C-S-H (Silicato de Calcio Hidratado) adicional, por esta razón, la adhesión de Nanosílice refina los poros y disminuye el volumen de poros de las pastas”, con ello se puede corroborar que la adición de este material en mezclas de hormigón para incrementar su resistencia mecánica, flexibilidad y resistencia al envejecimiento.

Según (Sánchez et al., 2016, p. 2) “Las partículas de Nanosílice aumentan el proceso de hidratación incrementando de esta manera las propiedades mecánicas a edades tempranas”, para ello en la Tabla 11 se detallan los resultados de los porcentajes de hidratación con y sin Nanosílice.

Tabla 11*Porcentajes de hidratación del cemento con y sin Nanosílice*

Muestra	% hidratación a los 3 días	% hidratación a los 7 días
Pasta de cemento	69.9	75.6
Pasta de cemento + Nanosílice	82.2	90.7

Nota: Muestra los porcentajes de hidratación del cemento al implementarse o no el Nanosílice. (Sánchez et al., 2016, p. 2)

Para el desarrollo de la presente investigación se escogió el Nanosílice denominada Aerosil® 200 producida por la empresa alemana EVONIK, tal y como se puede apreciar en la Figura 1.

Figura 1

Aditivo Aerosil 200



Nota: Muestra del aditivo Aerosil® 200 antes de ser usado en los diferentes diseños de mezclas de hormigón.

- ✓ *Tamaño de las partículas.* La presentación del Nanosílice es bastante homogénea el cual posee una forma tetraédrica muy definida, su tamaño nanométrico de las partículas oscila entre 3 nm y 15 nm. (AEROSIL® 200, EVONIK 2021, p. 1)
- ✓ *Superficie específica.* Dado que el tamaño de la partícula es a nivel nanométrico, la superficie específica es muy grande que proporciona a la

mezcla mayor plasticidad. El producto Aerosil® 200 tiene una superficie específica de 200 ± 25 m²/g. (AEROSIL® 200, EVONIK 2021, p. 1)

- ✓ *Densidad.* La densidad aparente del Nanosílíce es de aproximadamente 50 g/l y la densidad compactada es de 120 g/l. (AEROSIL® 200, EVONIK 2021, p. 1)

- ✓ *Beneficios del uso de Nanosílíce.* (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021, p. 45) determinan que “el Nanosílíce en el hormigón genera un mejoramiento en sus propiedades, dando al mismo altas resistencias a edades desde 56 a 180 días”.

- ✓ *Ventajas de usar Nanosílíce.* Según (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021, p. 50), las ventajas de usar Nanosílíce como compuesto en una mezcla de hormigón son las siguiente:
 - * Facilita mayor versatilidad en el concreto proporcionando altas propiedades resistentes tanto para compresión como tracción. (2021, p. 50)
 - * Proporciona una buena trabajabilidad a la mezcla para relaciones de agua/cemento muy bajas. (2021, p. 50)
 - * Fácil homogenización lo que hace posible a las concreteras reducir el tiempo de mezclado y aumentar su producción. (2021, p. 50)
 - * La mezcla de concreto con adiciones de Nanosílíce genera que el concreto sea más denso y no permita el flujo de agua por lo que proporciona la reducción en el desarrollo de corrosión en el concreto. (2021, p. 50)

- ✓ *Propiedades del Nanosílíce en estado fresco.* (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021, p. 49) determina que el uso del Nanosílíce como aditivo en una mezcla de hormigón, en estado fresco, presenta las siguientes propiedades:

- * Debido a su reactividad superficial y al ser una propiedad puzolánica tiene un efecto acelerante en el hormigón que origina mayor velocidad de hidratación. (2021, p. 49)
 - * La adición de este nanocompuesto de sílice permite contar con una mezcla más cohesiva, lo que reduce la pérdida de agua sin producir segregación. (2021, p. 49)
 - * Disminución de la trabajabilidad de la pasta lo que hace necesario aumentar la cantidad de agua y la utilización de plastificantes. (2021, p. 49)
- ✓ *Propiedades del Nanosílice en estado endurecido.* De acuerdo con (González et al., 2021, p. 6) “la incorporación del Nanosílice mejora las propiedades mecánicas en el hormigón endurecido mejorando así la resistencia a la compresión, flexión y tensión.
- ✓ *Aplicaciones de Nanosílice en la construcción.* Ante la expansión en el estudio del Nanosílice dentro de mezclas de concreto como aditivo, es posible determinar su utilización en:
- * Pavimentos.
 - * Puentes.
 - * Vigas pretensadas y postensadas.
 - * Hormigones de alta resistencia.
 - * Hormigones autocompactantes.
 - * Hormigones de baja densidad.
 - * Hormigones marinos.
 - * Hormigón proyectado.
 - * Hormigones autocompactables.
- ✓ *Aplicaciones estructurales con el uso de Nanosílice.* “Las aplicaciones del Nanosílice no solo se enfocan en la propiedad de resistencia sino también en otras características como rápido desencofrado” afirma (Barrionuevo Castañeda y Tapia Vargas, 2021, p. 51), así mismo determina que “permite

la reducción de secciones transversales de la estructura, dando como resultado la disminución de carga muerta que favorece al diseño y construcción de edificios altos, esbeltos, puentes de luces grandes y proporciona mayor estabilidad bajo la acción sísmica”. (2021, p. 51)

- ✓ *Beneficios medioambientales con el uso de Nanosílice.* El uso de adiciones minerales de Nanosílice en el concreto no solo es favorable para el mejoramiento de sus propiedades mecánicas y estructurales de los materiales, sino que también ayuda con aspectos medioambientales que generan una disminución favorable en la contaminación al reducir la huella de carbono con el uso de estos materiales, pues la utilización de estos componentes está de acuerdo con la ISO 14001 de sistemas de aprobación medioambiental, por lo que es amistosa con el medioambiente. (Gessa y Sancha, 2014, p. 4)

2.4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO

Se denomina al hormigón en estado fresco cuando la mezcla que es procesada esta blanda, realizando el amasamiento de hormigón hasta el punto en que el cemento pasa a la fase de fraguado, las partículas del hormigón se encuentran en una mezcla heterogénea que pasan de estado solidas a liquidas, para que el comportamiento de este estado del hormigón sea eficaz depende muchos parámetros como la relación agua cemento, el tamaño de los agregados entre otras.

La mezcla del hormigón se divide por etapas, en donde inicia hidratando al cemento añadiéndole agua, una vez hidratado el cemento adquiere propiedades que lo vuelven resistentes a esta etapa se le denomina endurecimiento y para la última etapa que es la plástica en donde el hormigón recibe desplazamientos con pequeñas cantidades de energía de manera externa.

2.4.1. Trabajabilidad.

Esta propiedad del hormigón en estado fresco es aquella cuando el hormigón tiene la capacidad o no de mezclarse con facilidad, dependiendo de su docilidad, implica también dentro de esta propiedad la colocación del hormigón puesta in situ determinando

si esta apta o se dificulta, el grado de segregación a la que resiste para el acabado en estado fresco del hormigón, tomando en cuenta que sus agregados no se desintegren, esta propiedad se mide mediante el ensayo de cono de Abrams. Algunos de los factores influyentes para la docilidad de la mezcla es la proporción de los materiales cementicios, la relación agua cemento y las características de los áridos finos y gruesos.

2.4.2. Consistencia.

Es el grado que tiene el hormigón para deformarse, ocupando de tal manera la cantidad de vacíos en el lugar que se lo coloque, dentro de los factores que influyen para esta propiedad principalmente es granulometría de los agregados, las dimensiones de los mismos dependerán si la consistencia del hormigón es seca, blanda, fluida o líquida.

2.4.3. Fluidéz.

Propiedad que permite determinar si el volumen de agua colocado es o no el adecuado en el hormigón teniendo en cuenta algunas de las propiedades ya antes mencionadas como la trabajabilidad, consistencia, estos factores son básicamente controlados de manera visual.

2.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

En la etapa final de la mezcla se genera el proceso de fraguado que es la característica que hace un hormigón endurecido, interviniendo en este hormigón los agregados, la masa del cemento aquí participa el agua, influye también la cantidad de poros y aire sin incluir. El hormigón endurecido se somete a esta etapa de manera progresiva que lo convierte de un material plástico a un tipo de material sólido debido a la reacción química de la mezcla de los agregados.

2.5.1. Resistencia a la compresión.

Es una de las más importantes propiedades en estado del hormigón endurecido ya que es la encargada de determinar la calidad del hormigón, la resistencia a la compresión se basa en someter al hormigón a cargas axiales esta metodología de ensayo como lo señala la INEN 1573 nos proporciona el control para la evaluación de la eficacia en que actúan los agregados del hormigón, el proceso de mezclado y la colocación, de manera general como lo indica la normativa hasta los 28 días del proceso de curado de

hormigones convencionales dentro de esta normativa detalla el proceso de elaboración de probetas de hormigón.

Es importante mencionar que esta propiedad necesariamente se considere la forma y tamaño de los agregados para su correcta dosificación la resistencia a la compresión se expresa en unidades de MPa o Kg/cm².

2.5.2. Módulo de rotura.

La resistencia a la flexión es aplicada a vigas en las que este tipo de elementos es sometida a flexión a una carga constante que está distribuida a los tercios de la luz del elemento, se expresa como (MR) en unidades de MPa, este módulo de rotura es aproximadamente del 10% al 20% de lo que es la resistencia a la compresión, para el correcto diseño de hormigón para las vigas es fundamental y varía su resistencia de acuerdo al volumen de los áridos gruesos, el tamaño de especímenes, las condiciones de curado y la humedad. Este tipo de ensayo según lo indica INEN 2554 permite indicar si se cumple con los parámetros establecido para la correcta dosificación en los elementos vigas.

CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

En el presente estudio se aplicará el tipo de investigación experimental donde se realizarán los ensayos mecánicos y físicos para la obtención de probetas de hormigón de 21 MPa, 24 MPa, 28 MPa con la adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%; se llevará a cabo la caracterización de los constituyentes de los materiales que se utilizarán para los especímenes del hormigón.

Se diagnosticaron, mediante la elaboración de los diferentes ensayos, a los que se sometieron a compresión las probetas de hormigón con el fin de estudiar su trabajabilidad en las dosificaciones de 21 MPa, 24 MPa, 28 MPa a los 3, 7, 14 y 28 días como lo establece la Norma Ecuatoriana de Construcción.

3.1.2. Nivel.

Los niveles de investigación aplicados en el presente son explicativo y aplicativo:

- * En el nivel explicativo se determina bajo la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón de cemento portland como su durabilidad, trabajabilidad y si alcanza el alto desempeño en resistencias de 21 MPa, 24 MPa, 28 MPa con la adición de Nanosílice.
- * En el nivel aplicativo se desarrollarán ensayos a los agregados del hormigón para la obtención de sus propiedades, con la adición de Nanosílice variando en sus porcentajes.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

Hipotético deductivo: En este método del presente trabajo se ejecutaron variaciones al diseño de patrón de hormigón mediante la implementación de Nanosílice en porcentajes del 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%, para analizar cómo se comportan los

hormigones evaluando las propiedades mecánicas y si llegan alcanzar las altas resistencias, calculando también el precio unitario de los hormigones con adición de Nanosílice.

3.2.2. Enfoque.

Este trabajo de investigación se realizará bajo el enfoque cuantitativo en donde se evaluará el comportamiento del hormigón con la adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%, con la elaboración de cilindros de especímenes de hormigón.

3.2.3. Diseño.

Mediante el diseño experimental se elaboraron varias mezclas de hormigón utilizando el diseño convencional como lo indica la norma ACI 211 como primer método para la obtención de patrones de control con cemento tipo GU de uso general, se realizaron además mezclas con los porcentajes del aditivo para obtener el diseño de hormigón de cemento portland con la incorporación de Nano-SiO₂ en las resistencias planteadas en esta investigación, de tal manera analizar si las propiedades mecánicas mejoran en los hormigones convencionales.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población.

Hormigones de uso convencional elaborados a base de agregados gruesos y finos extraídos de diferentes canteras de la provincia del Guayas, y hormigones con adición de nanosílice.

3.3.2. Muestra.

Elaboración de 120 cilindros de hormigón, entre ellos los cilindros patrones de control y cilindros con adición de diferentes porcentajes de Nanosílice, los cilindros cuentan con dimensiones de 15 cm de diámetro y de 30 cm de alto; también se fundirán 45 vigas, entre ellas las vigas patrones de control y vigas con adición de diferentes porcentajes de Nanosílice, las vigas cuentan con dimensiones de 45 cm de longitud, 15 cm de altura y 15cm de grosor.

3.3.3. Muestreo.

Especímenes de hormigón (21 MPa, 24 MPa y 28 MPa) con adición de nanosílice (2%, 2,5%, 3% y 3,5%) para determinar sus propiedades mecánicas.

3.4. METODOLOGÍA DE LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.4.1. Metodología del objetivo específico 1: Caracterizar los constituyentes del hormigón con adición de Nanosílice.

Para caracterizar los constituyentes del hormigón con adición de Nanosílice en porcentajes del 2%, 2,5%, 3%, y 3,5% se emplearán las siguientes especificaciones técnicas:

- * NTE INEN 696 para realizar el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos.
- * NTE INEN 857 para determinar la densidad de los agregados y absorción del agregado grueso.
- * NTE INEN 856 para determinar la densidad de los agregados y absorción del agregado fino.
- * NTE INEN 862 para determinar el contenido total de humedad de los agregados.
- * NTE INEN 858 para determinar de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos de los agregados.
- * ACI 211.1 y ACI 211.4R para la elaboración de una mezcla de concreto.
- * INEN 1578 para determinar el revenimiento del concreto (cono de Abrams).

3.4.2. Metodología del objetivo específico 2: Verificar la declinación de la propiedad mecánica del hormigón a compresión.

Para verificar la declinación de la propiedad mecánica del hormigón a compresión, observando si su déficit disminuye o aumenta con respecto al incremento del porcentaje de Nanosílice, se emplearán las siguientes especificaciones técnicas:

- * INEN 1573 para determinar la resistencia a la compresión.
- * INEN 2554 para determinar la resistencia a la flexión.

Posterior a las roturas de los cilindros y vigas, según corresponda como lo establecen las normas (3, 7, 14, y 28 días para cilindros y, 7 y 14 días para vigas), se representará gráficamente el comportamiento mecánico sometido a compresión y flexión del hormigón, dando paso a su respectivo análisis interpretativo de acuerdo con cada resistencia y porcentaje de adición de Nanosílice.

Una vez concluida la interpretación individual de cada resistencia según su porcentaje de nanosílice, se realizará una comparativa general de acuerdo con cada resistencia, permitiendo determinar, cuál de los porcentajes presentan una mejor respuesta mecánica a compresión y flexión.

Así mismo, se elaborará un análisis comparativo con investigaciones relacionadas al presente caso de estudio, considerando los aspectos variables dentro del desarrollo de cada una de las investigaciones, tal es el caso de los porcentajes de adición de Nanosílice que varían, según corresponda.

3.4.3. Metodología del objetivo específico 3: Analizar mediante una comparación entre hormigones y elaborar el precio unitario del costo-fabricación.

Para llevar a cabo un análisis comparativo entre hormigones convencionales (21 MPa y 24 MPa) y de altas resistencias (28 MPa), nanomodificados con la adición de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%, será necesario interpretar el análisis del comportamiento mecánico de los diseños de hormigones propuestos en el presente estudio, a su vez, dará paso a la elaboración de un análisis de precios unitarios para cada resistencia propuesta, permitiendo determinar la factibilidad económica de la misma.

Una vez realizados los análisis, las interpretaciones y las comparativas, se dará paso a la formulación de las conclusiones de acuerdo con las hipótesis planteadas en el presente trabajo de investigación, posterior, se recomendará donde se debe de profundizar el desarrollo científico utilizando nanocompuestos dentro de una mezcla de hormigón convencional o de altas resistencias.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

La Tabla 12 permite identificar las variables que componen el presente trabajo de investigación ampliando su operacionalización del desarrollo científico.

Tabla 12

Operacionalización de las variables

Variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumentos
Dependiente	La mezcla patrón o de control es la que nos permite determinar el control de calidad del hormigón en varias resistencias y su comportamiento.	Norma ACI 211	Guía para selección de proporciones y hormigón de alta resistencia con cemento portland y ceniza volante.	Considerar la correcta proporción del cemento Portland Tipo GU para un mejor rendimiento.	Diseño del hormigón patrón en hoja de cálculo de Excel.
Mezcla convencional de hormigón de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa utilizando cemento Portland tipo GU.		Norma INEN 696	Análisis granulométrico para áridos finos y gruesos.	Analizar la curva granulométrica de los agregados para la mezcla de control.	
		Norma INEN 856	Determinación de la densidad y absorción de los agregados.	Aplicación para la corrección de absorción de los agregados.	
Independiente	La resistencia del hormigón de un cemento portland es la capacidad que tiene un hormigón para soportar una carga que se expresa universalmente en Kg/cm ² (MPa) que al añadir algún tipo de aditivo sufre cambios en sus propiedades mecánicas y físicas teniendo como resultado el incremento o decaimiento de su resistencia.	Norma INEN 1573 (2010)	Hormigón de cemento portland Tipo GU.	Determinar si el hormigón alcanza las resistencias máximas.	Ensayo de resistencia a compresión y flexión
Porcentaje de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.		Norma INEN 1576 (2011)	Determinación de la resistencia a la compresión.	Evaluar el comportamiento de los especímenes en edades de 3,7,14 y 28 días.	
		Norma INEN 2554 (2011)	Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo.	Seleccionar el tipo de cemento a emplear según se requiera.	
		Norma INEN 2380 (2011)	Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.	Evidenciar de qué manera se comportan las vigas a flexión.	
		Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón.			

Nota: Tabla de operacionalización de las variables que componen le presente caso de estudio.

3.6. ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recopilación de información y los datos de varios ensayos ya realizados en laboratorio como la granulometría de agregados, determinación de densidad y de humedad todos estos resultados de manera cuantitativa se los trasladará a hojas de cálculos de Excel.

3.6.1. Fuentes de investigación.

- * Normas de construcción vigentes
- * Artículos científicos
- * Tesis Académicas

3.6.2. Programa Experimental.

Se elaboraron varias mezclas de hormigón utilizando el diseño convencional como lo indica la norma ACI 211 como primer método para la obtención de patrones de control con cemento tipo GU de uso general, se realizaron además mezclas con los porcentajes del aditivo para obtener el diseño de hormigón de cemento portland con la incorporación de Nanosílice en las resistencias planteadas en esta investigación, de tal manera analizar si las propiedades mecánicas mejoran en los hormigones convencionales.

3.7. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

Para este programa experimental se utilizó esta metodología de diseño:

- * Selección de materia prima.
- * Elaboración de ensayos de agregados tanto finos y gruesos como lo es el análisis granulométrico, el peso volumétrico, porcentaje de absorción y humedad de los materiales.
- * Diseño y dosificación de hormigón convencional y con adición de Nanosílice.
- * Ejecución de ensayos de hormigón para la selección de propiedades como el de revenimiento y resistencia a la compresión.

3.7.1. Ubicación y característica de los agregados.

Los materiales seleccionados para la elaboración de ensayos fueron extraídos en la Cantera Huayco administrada por la empresa Calizas Huayco S.A. ubicada en el kilómetro 12 vía la costa Guayaquil-Salinas (Figura 2), donde se obtuvieron los agregados gruesos para la ejecución de mezclas de hormigón.

Figura 2

Ubicación de la cantera Huayco



Nota: Figura representativa de la cantera Huayco. (Google Maps, 2022)

3.7.2. Ensayos de propiedades Físicas y Mecánicas de los agregados.

a) Análisis granulométrico en los agregados finos y gruesos (NTE INEN 696)

Para el análisis granulométrico de los áridos tanto finos para gruesos nos basamos a la norma (INEN 696, pág. 2) esta que nos permite establecer principalmente la distribución granulométrica por tamizado estándar de las varias partículas de los áridos, tal como le muestra la Figura 3 para los agregados finos de acuerdo con la clasificación según la Tabla 13, y la Figura 4 para los agregados gruesos, determinando de tal forma la graduación de materiales para lograr utilizarlos como agregados para el hormigón.

Esta metodología de ensayo es de mucha relevancia ya que aquí intervienen varios aspectos de lo que comprende una mezcla de hormigón como lo es su trabajabilidad, su dosificación entre otras de mucha importancia.

Debido al análisis granulométrico de los áridos finos se tienen valores máximo nominal, obteniendo de tal manera el módulo de finura (ver Anexo 1 y Anexo 2), el cual se resuelve realizando la suma de porcentajes que se retienen acumulados en los tamices y fraccionando para 100.

Equipo:

- * Balanzas: Para agregado fino y grueso que tengan mayor precisión para la legibilidad y exactitud.
- * Tamices: Deben tener las mallas adecuadas tal como indica la norma NTE INEN 154 para procurar la pérdida de material durante el proceso de tamizado (Figura 5).
- * Agitador de tamices mecánico: para lograr que las partículas caigan cumpliendo con el criterio del tamizado indicado.
- * Horno de laboratorio: Horno que alcance temperaturas de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- * Taras: Recipientes que se utilizaran para recolectar las muestras de los tamices.

Tabla 13

Análisis Granulométrico para áridos finos

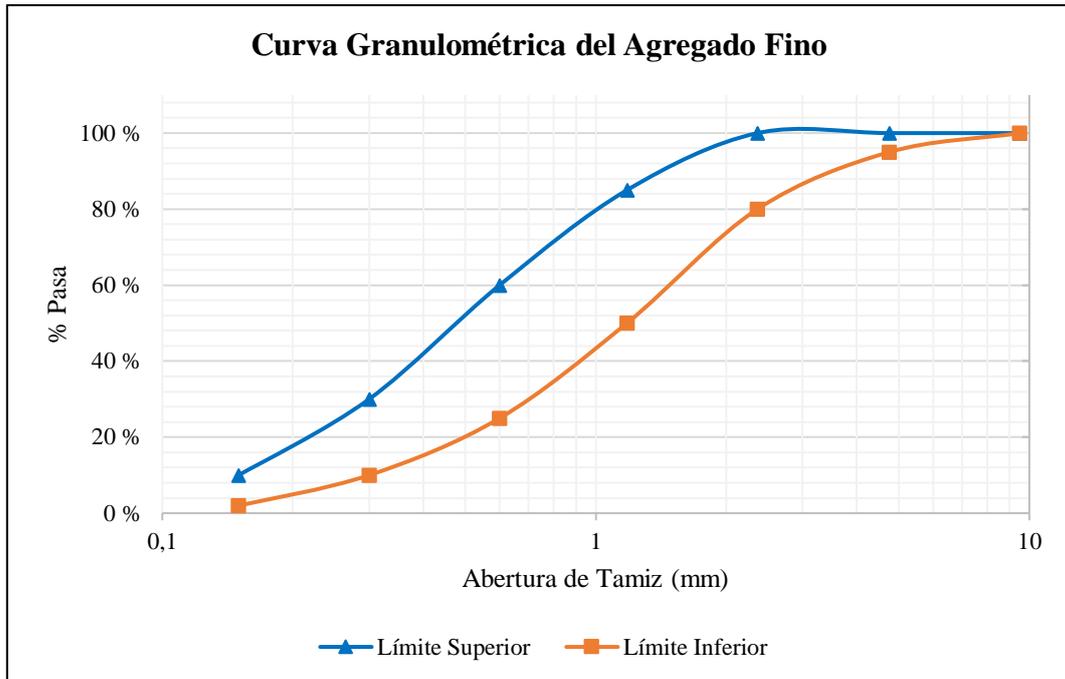
Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	5 a 30
150 μm	0 a 10

Nota: Tabla de análisis granulométrico de agregado fino según las aberturas de los tamices y los porcentajes referenciales que pasan. (INEN 872, 2011, pág. 4)

La Tabla 3 en la página 22, determina los requisitos que establece la norma (ASTM C 33, 2003, p. 6) de acuerdo con el análisis granulométrico del agregado grueso para la respectiva utilización según el diseño de hormigón.

Figura 3

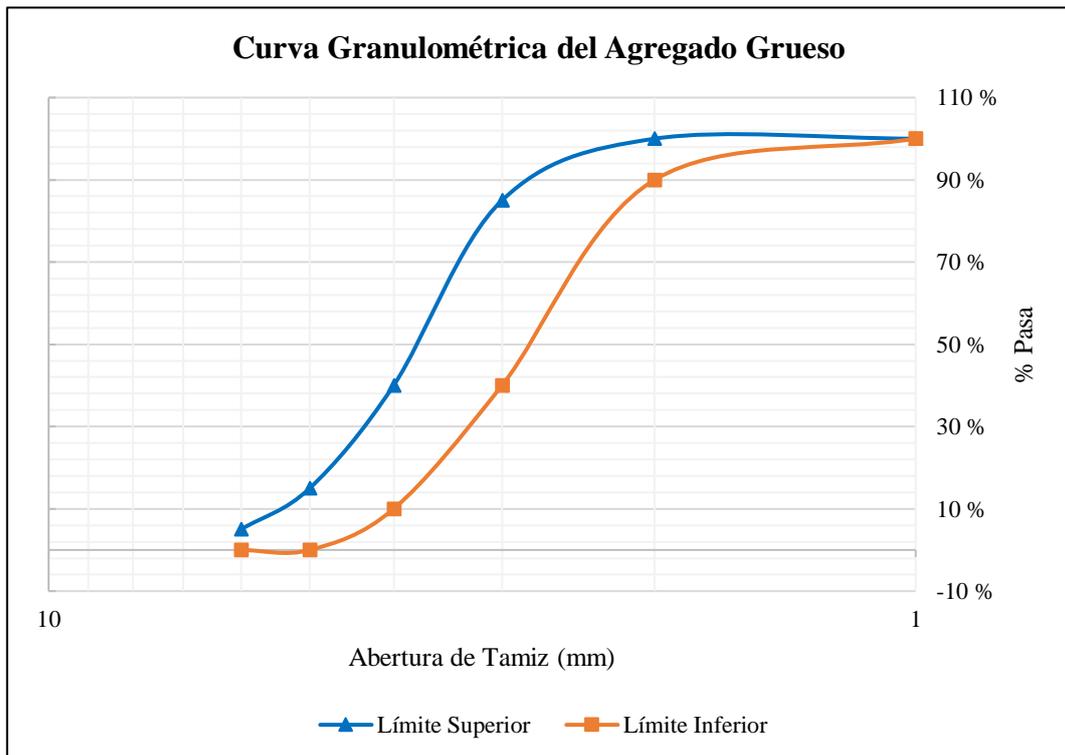
Curva Granulométrica para Agregado Fino



Nota: Representación referencial de la curva granulométrica de agregado fino.

Figura 4

Curva Granulométrica para Agregado Grueso



Nota: Representación referencial de la curva granulométrica de agregado grueso

Figura 5

Ensayos de granulometría



Nota: Elaboración de los ensayos de granulometría a los agregados gruesos y finos.

b) Ensayo de determinación de densidad de los agregados y absorción de áridos gruesos (NTE INEN 857)

La norma (INEN 857) establece este método de ensayo para definir la densidad promedio del agregado grueso, de una parte sólida de gran porción de las partículas del agregado grueso y así resolver un valor promedio de un valor representativo de la muestra (Tabla 14), la determinación de la densidad y la absorción de los áridos son propiedades muy relevantes que se necesitan para el diseño del concreto y de morteros. (ver Anexo 3)

Es necesario seguir los diferentes parámetros técnicos del ensayo de la determinación de densidades de agregados gruesos, para aquello se considerarán los diferentes utensilios para el correcto desarrollo del mismo.

Equipos:

- * Bascula: Aparato para lectura de masas, debe ser descifrable y con proximidad 0,05% de masa, en algún punto del rango establecido de este ensayo de densidades.

- * Canasta: Recipiente en forma de canasta que posee aberturas de 3,35mm de material de alambre, con una altura y ancho similar, teniendo una cavidad en el rango de 4-7 litros para agregado con una dimensión de 37,5mm o ínfimo, en cuanto lo amerite se utilizara una canasta de mayor dimensión.
- * Tanque: Tanque de agua que tenga controle el nivel hermético en el cual se deposita el recipiente para la muestra.
- * Tamices: Se utiliza tamiz de tamaño 4,75mm, si el caso lo amerita se utilizarán otros tamaños que deberán cumplir con lo que establece la normativa.
- * Horno de laboratorio: Horno que alcance temperaturas de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, con dimensiones adecuadas

Tabla 14

Masa mínima de la muestra de ensayo

Tamaño Máximo Nominal, (mm)	Masa mínima de la muestra para ensayo, (kg)
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Nota: Esta tabla demuestra los valores de la masa mínima de la muestra de ensayo y el tamaño máximo nominal. (INEN 857).

c) Ensayo de determinación de densidad de los agregados y absorción de áridos finos (NTE INEN 856)

La forma de ejecutar este ensayo según la normativa para áridos finos es para realizar el cálculo de densidades excluyendo el volumen de vacíos entre sus partículas y la absorción del agregado grueso, de manera en que se determine la densidad de una parte solida de un determinado número voluminoso de partículas de agregado y facilitar el valor promedio que representa el espécimen. (INEN 856)

Equipo:

- * Balanza: Debe ser descifrable y con una cabida aproximadamente de 1kg con proximidad de 0,1% de la carga del ensayo.
- * Picnómetro: Se utiliza para el método gravimétrico, puede ser un contenedor o matraz adecuado para el agregado fino su muestra.
- * Matraz: Se utiliza generalmente para las muestras de ensayos con una proximidad de 55g.
- * Molde y compactador para ensayo de humedad superficial: Debe cumplir varias especificaciones principalmente la de molde en forma de cono truncado con medidas de diámetro de 40 ± 30 mm de su altura y el metal debe poseer un espesor min de 0,8 mm.
- * Horno: Con dimensiones adecuadas, temperatura: $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

Cálculo para densidades:

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno (g)

B: Masa del picnómetro lleno con agua hasta la marca

C: Masa del picnómetro lleno con la muestra y el agua

R1: Lo del nivel del agua en el frasco de Le Chatelier

R2: L_f del nivel del agua en el frasco

S: Masa de la muestra saturada superficialmente seca

- ✓ *Cálculo de densidades del agregado fino: Densidad (SH)*

Cálculo Gravimétrico:

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{A}{(B+S-C)} \text{ kg/m}^3$$

Cálculo volumétrico:

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{\frac{A}{S}}{(R2-R1)} \text{ kg/m}^3$$

- ✓ *Para el cálculo de densidades del agregado fino de manera saturada superficialmente seca. Densidad (SSS)*

Cálculo Gravimétrico:

$$\text{Densidad (SSS)} = \frac{S}{(B+S+C)} \text{ kg/m}^3$$

Cálculo volumétrico:

$$\text{Densidad (SH)} = \frac{S_1 \left(\frac{A}{S}\right)}{(R_2 - R_1) - \left(\left(\frac{S_1}{S}\right)(S - A)\right)} \text{ kg/m}^3$$

✓ *Cálculo de porcentaje de absorción del agregado.*

Absorción %:

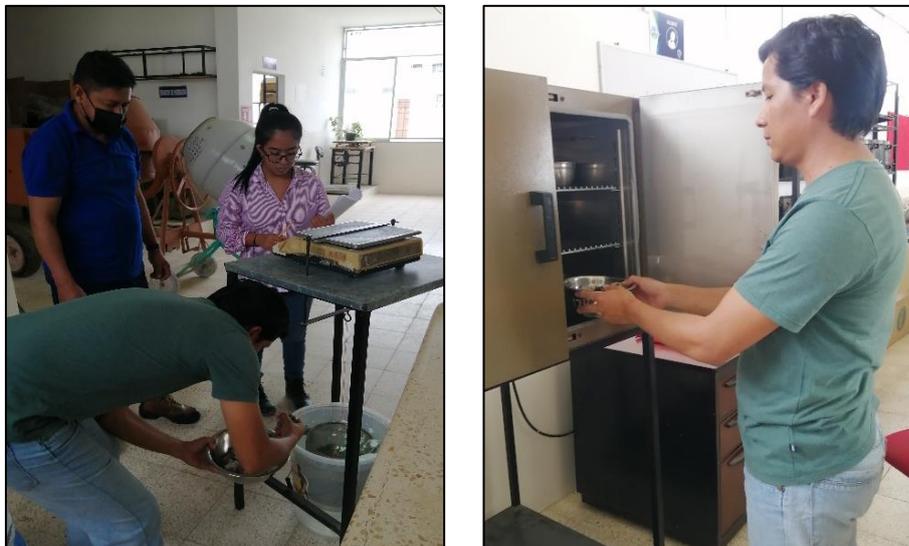
$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S-A)}{A} * 100$$

El porcentaje de absorción sirve para la determinación de los diferentes cambios que sufre la masa del árido fino a causa del agua que absorbe el material por los poros de las partículas en relación con el estado seco. (ver Anexo 4)

En la Figura 6 se puede observar la elaboración de los ensayos correspondientes a los diferentes agregados (finos y gruesos) para determinar su humedad y absorción.

Figura 6

Ensayos de humedad y absorción de los agregados



Nota: Elaboración de los ensayos de humedad y absorción en los áridos gruesos y finos para su respectivo análisis y posterior dosificación del hormigón.

d) Ensayo para determinación de contenido total de humedad según norma (NTE INEN 862)

Este ensayo según lo estipula la normativa nos permite proporcionar el porcentaje de humedad de la muestra de los agregados determinando tanto la humedad superficial como también la humedad contenida de los agregados para el hormigón. (INEN 862, 2011). Principalmente se basa en que la muestra elegida del agregado (Tabla 15), se someta al proceso de secado al horno y así relacionar el peso de sus masas, antes y después, para la obtención del contenido de humedad total de la muestra de los agregados. (ver Anexo 5)

Equipos:

- * Balanza: Aparato para lectura de masas, debe ser descifrable y con proximidad 0,15% de carga de ensayo, en algún punto del rango establecido de este ensayo de humedad.
- * Horno de laboratorio: Necesario y esencial para este método de ensayo debe alcanzar temperaturas de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, con dimensiones adecuadas.
- * Recipientes: Para la colocación de muestras de los agregados capaz de soportar las altas temperaturas y de tamaño que según lo requiera.
- * Agitador: Espátula de medida adecuada para las muestras de agregados.

Tabla 15

Tamaño de la muestra de árido

Tamaño Máximo Nominal del árido (mm)	Masa de la muestra de áridos de densidad normal, mínimo (kg)
4,75	0,5
9,5	1,5
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	6
50	8
63	10
75	13
90	16
100	25
150	50

Nota: Muestra los tamaños máximo nominal de acuerdo con los tamices que cumplen con la norma. (INEN 154, 1986, pág. 2)

En la Figura 7 se puede observar el procedimiento del ensayo para determinar el contenido de humedad del material de acuerdo con lo establecido por la norma.

✓ *Calculo para determinar el contenido de humedad:*

Contenido de humedad evaporable de la muestra:

$$P = \frac{100 (W - D)}{D}$$

Dónde:

P: Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)

W: Masa de la muestra original

D: Masa de la muestra seca

Figura 7

Determinación de contenido total de humedad



Nota: Elaboración de los ensayos para la determinación del contenido de humedad de los agregados.

e) Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos (NTE INEN 858)

Este método de ensayo según lo indica la norma (INEN 858) nos permite determinar la masa unitaria del agregado de manera suelta o compactada de tal forma definir los vacíos que existen entre las partículas de los agregados tanto

gruesos como finos o a su vez combinarlos fundamentándose en su determinación. Principalmente se basa este procedimiento en que el peso unitario determina la densidad total teniendo como consecuencia la división de la masa del árido en condición seca y la cantidad de volumen que ocupan los vacíos de aire entre las partículas, este tipo de ensayo es esencial para la correcta proporción y dosificación de las mezclas del hormigón puestas in situ. (ver Anexo 6)

Equipo:

- * Balanza: Aparato de laboratorio para lectura de masas, debe ser descifrable y con precisión 0,1% de carga de ensayo.
- * Varilla de compactación: Debe ser de forma recta, de material de acero con un diámetro de 16mm con una longitud de 600 mm aproximado en sus extremos debe constar con una punta semiesférica.
- * Molde: De forma de cilindro impermeable, debe ser rígido debido al manejo brusco el recipiente debe constar con una altura igual a su diámetro dependiendo de la capacidad del molde (Tabla 16), este molde debe cumplir con la normativa como lo establece la INEN (Tabla 17).
- * Cucharón: Con una dimensión adecuada para ocupar el molde con el agregado.
- * Instrumentos de calibración: Equipos extras de calibración.
- * Placa de Vidrio: Debe tener aproximadamente de espesor de 6mm y con un diámetro mayor de 25 mm del molde que se requiere.
- * Termómetro: con un alcance aproximadamente de 10°C y 32°C.

Tabla 16

Capacidad de los moldes para ensayo de áridos

Tamaño Máximo Nominal del árido (mm)	Capacidad nominal del molde, (m3)
12,5	0,0028
25,0	0,0093
37,5	0,014
75,0	0,028
100	0,070
125,0	0,100

Nota: Capacidad de los moldes para el ensayo de la áridos conforme lo establece la norma.

(INEN 858)

Tabla 17*Requisitos para los moldes*

Capacidad del molde	Espesor mínimo del metal		
	Fondo	38mm superiores de la pared	Resto de la pared
Menor que 11 (Litros)	5,0 mm	2,5 mm	2,5 mm
De 11 litros a 42 litros incluido	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
Sobre 42 litros a 80 litros incluido	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
Sobre 80 litros a 133 litros incluido	13,00 mm	7,4 mm	5,0 mm

Nota: Requisitos para los moldes donde se va a realizar los ensayos para determinar la masa unitaria. (INEN 858)

La Tabla 18 determina la densidad promedio del agua según su temperatura, tal y como lo establece la norma INEN 858.

Tabla 18*Densidad del agua*

Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m3)
15,0	999,19
17,0	998,86
19,0	998,49
21,0	998,08
23,0	997,62
25,0	997,13
27,0	996,59
29,0	996,02
31,0	995,41

Nota: Densidad del agua según su temperatura. (INEN 858)

Cálculos:

✓ *Masa Unitaria mediante el proceso de varillado, sacudidas o paladas*

$$M = \frac{(G-T)}{v} \quad \text{ó} \quad M = (G - T) * F$$

Donde:

M: Masa Unitaria del agregado

G: Masa del agregado más el molde

T: Masa del molde

V: Volumen del molde m³

F: Factor del molde

- ✓ *Masa Unitaria en condición saturada superficialmente seca (SSS)*

$$M = M(1 + (A/100))$$

Donde:

Msss: Masa unitaria en condición SSS

A: % de absorción, determinado de acuerdo con la (INEN 857).

- ✓ *Contenido de vacíos*

$$\text{Vacío, \%} = \frac{((S*M)-Da)*100}{(S*Da)}$$

Donde:

M: Masa unitaria del agregado

S: Gravedad específica en condición seca

Da: Densidad del agua

- ✓ *Volumen del molde de esta manera*

$$V = \frac{(W - M)}{D}$$

$$F = \frac{D}{(W - M)}$$

Donde:

V: Volumen del molde

W: Masa del agua, placa, vidrio y molde

M: Masa de la placa de vidrio y molde

D: Densidad del agua para la temperatura de medición

F: Factor del molde

Figura 8

Determinación de la masa unitaria



Nota: Peso volumétrico del material para posterior realizar los cálculos correspondientes.

En la Figura 8 se observa el procedimiento del ensayo del Peso Volumétrico Varillado (PVV) y Peso Volumétrico Suelto (PVS), como parte de los ensayos para determinar la densidad del material grueso. (ver Anexo 7)

3.7.3. Propiedades de hormigón endurecido.

a) Ensayo de determinación de la resistencia a la compresión INEN 1573

Mediante esta metodología de ensayo proporciona la determinación de la resistencia de la compresión de los cilindros de hormigón según define la norma (INEN 1573, 2010, pág. 2) estos resultados se emplean para el control del calidad del diseño de hormigón, mediante su preparación y puesto In Situ procurando cumplir con todos los requisitos que establece la norma los parámetros y especificaciones para el correcto comportamiento del hormigón y que sea eficaz al momento de la implementación de algún aditivo.

Equipos:

- * Máquina de Ensayo: Este aparato debe constar con la suficiente capacidad de carga y tener de varias velocidades de carga según lo establece la normativa.

- * Neoprenos: Cauchos sintéticos capaces de soportar resistencias de 2500 - 700 Psi.

En la Tabla 19 se observa los diámetros de la cara máximos que deben tener con contacto del bloque esférico cumpliendo con los valores de la tabla mostrada sin que se excedan, en la Tabla 20 se muestran el rango de tiempo que deben cumplir los especímenes para que puedan ser sometidas a compresión deben ser estrictamente sometidos a compresión en el tiempo que se indica.

Tabla 19

Diámetro máximo de la cara de contacto del bloque de carga esférico

Diámetro de los especímenes de ensayo (mm)	Diámetro máximo de la cara de contacto (mm)
50	105
75	130
100	165
150	255
200	280

Nota: Diámetros de los especímenes para ensayos. (INEN 1573, 2010)

Tabla 20

Tolerancia de tiempo admisible para el ensayo de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	0,5 h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Nota: Tolerancia de los especímenes para los ensayos correspondientes.

En la Figura 9 se observa las roturas de cilindros llevadas a cabo en el Laboratorio de Suelos, Hormigón y Asfalto “INGEOTOP S. A.”, a su vez, la Figura 10 determina el tipo de rotura que se realizó, con base en la Norma INEN 1573.

Figura 9

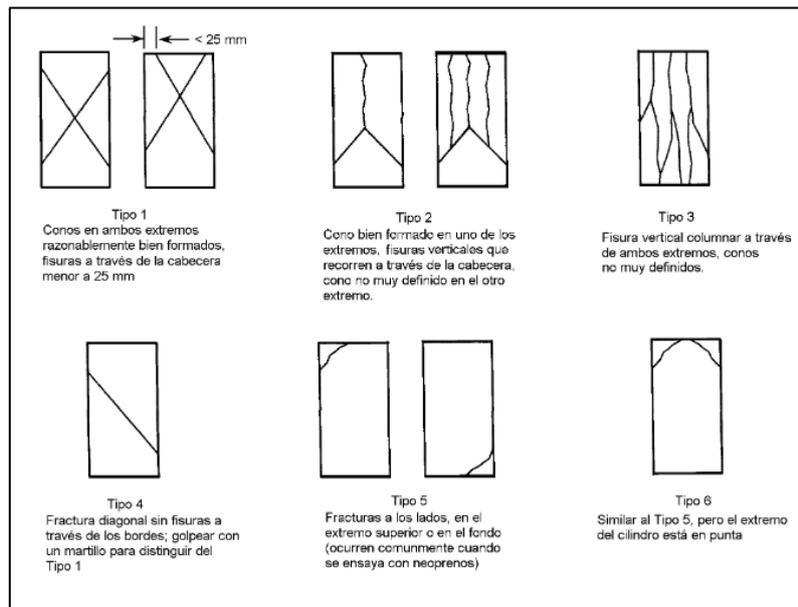
Roturas de cilindros sometidos a presión



Nota: Roturas de cilindros sometidos a presión, ensayos de compresión.

Figura 10

Esquema de los modelos típicos de fractura



Nota: En la figura presentada se observan los diversos tipos de fracturas que sufren como lo establece la norma. (INEN 1573, 2010)

a) Ensayo de determinación de la resistencia a la flexión INEN 2554.

Este ensayo nos permite determinar en vigas la resistencia a flexión de los especímenes de hormigones que han sido elaboradas de tal manera proporcionando información como es el módulo de rotura, esta metodología de ensayo nos permite conocer si se ha cumplido con las normativas estipuladas, los requerimientos y especificaciones para el correcto diseño de nuestro hormigón como lo indica la norma (INEN 2554, 2011, pág. 2)

Equipos:

- * Máquina de Ensayo: Este aparato debe constar con la suficiente capacidad para la carga a soportar cumpliendo con los parámetros requeridos por la norma.
- * Equipos de carga: La metodología de la carga en los tercios de luz libre se emplea para ejecutar ensayos de flexión de espécimen de hormigón, procurando la seguridad de estos haciendo uso de los bloques de carga.

Figura 11

Roturas a flexión de vigas



Nota: Ensayos a flexión de vigas.

3.7.4. Propiedades del cemento.

El cemento a utilizar en este proyecto de grado fue el de tipo GU de Holcim Fuerte, uno de los más importantes agregados para la mezcla del hormigón debido a que este material tiene una propiedad conglomerante, siendo este mismo capaz de formar morteros de excelente calidad, entre una de ellas la mejora de trabajabilidad de los morteros, la resistencia mecánica, este material cumple con la norma técnica Ecuatoriana (INEN 2380) que estipula varios requisitos fundamentales para que cumpla con el correcto desempeño para cementos hidráulicos para su aplicación.

Tabla 21

Requisitos físicos normalizados

	Norma de ensayo aplicable	GU
Finura	INEN 196	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80
Tiempo de Fraguado, método de Vicat		
Inicial, no menos de, minutos	INEN 158	45
Inicial, no más de, minutos		420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo		
1 día		--
3 días	INEN 488	13
7 días		20
28 días		28
Calor de hidratación		
7 días KJ/Kg (Kcal/Kg), Máximo	INEN 199	--
28 días KJ/Kg (Kcal/Kg), Máximo		--
Expansión en barra de mortero		
14 días, % máximo	INEN 2529	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos)		
6 meses, % máximo	INEN 2503	--
1 año, % máximo		--

Nota: Se presenta esta tabla donde se detallan requisitos físicos normalizados para el tipo de cemento de tipo GU. (INEN 2380, pág. 8)

En las tablas se muestran varias especificaciones técnicas del cemento tipo GU para la correcta dosificación al momento de desarrollar el diseño de hormigón que

son necesarias y aplicables, en la Tabla 21 se proporciona información de los requisitos físicos normalizados según lo establece la norma INEN 2380 para el tipo de ensayo que se aplican, Tabla 22 los valores referenciales que proporciona Holcim y que cumple con la mayoría de parámetros, Tabla 23 se observa datos de la composición química del cemento Holcim fuerte en la Tabla 24 la composición del cemento y en la Tabla 25 los requisitos de los componentes minerales.

Tabla 22

Valores referencias HOLCIM

Datos técnicos	
Finura	-
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	0
Tiempo de Fraguado, método de Vicat	
Inicial, no menos de, minutos	45
Inicial, no más de, minutos	151
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	4
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo	
1 día	--
3 días	17
7 días	22
28 días	30
Expansión en barra de mortero	
14 días, % máximo	0.001
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos)	
6 meses, % máximo	--
1 año, % máximo	--

Nota: Datos técnicos del cemento Tipo GU. (Holcim, 2015)

a) Especificaciones Técnicas

Tabla 23

Análisis Químicos del cemento

	Cemento Holcim fuerte	RTCR 479:2015	ASTM C1157 GU
% Óxido de magnesio (MgO)	≤ 3,0	≤ 6,0	≤ 6,0
% Trióxido de azufre (SO ₃)	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 4,0

Nota: Valores de especificaciones técnicas de (Holcim).

Tabla 24*Composición del cemento*

	Cemento Holcim fuerte	RTCR 479:2015
Clinker	45-64	45-64
Adiciones minerales	36-55	36-55
Otros	0-5	0-5

Nota: Composición del cemento Holcim Fuerte. (Holcim, 2015)

Tabla 25*Requisitos de los componentes minerales*

	Puzolana Holcim	Requisitos según ASTM C 618
Contenido de minerales reactivos (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) mínimo %	80.0	70.0
% Trióxido de azufre (SO ₃) máximo %	2.0	4.0
Contenido de humedad (máximo %)	2.0	3.0
Pérdida a la ignición (máximo %)	10.0	10.0
Índice de actividad a 7 o 28 días (mínimo %)	75	75

Nota: Componentes minerales de la puzolana Holcim.

3.7.5. Nanosílice (SiO₂).

El Nanosílice caracterizado por ser absorbente del agua y la humedad, una de las propiedades que satisface al sector de la construcción es que actúa de manera que incrementa las propiedades mecánicas del hormigón como lo señala (Gonzalez&Basurto, 2021, pág. 53), el Nanosílice está compuesto por partículas muy finas de un tamaño de aproximadamente de 1 a 100 nm de dióxido de silicio, principalmente tienen un diámetro de 15-40 nm que puede variar y de estructura esférica como lo argumenta (Silva Junior, 2017, pág. 36).

En la Tabla 26 se observa los datos físicos y químicos del Aerosil® 200 (Figura 12) que se van a utilizar en estos ensayos como el aditivo de Nanosílice ya que contiene SiO₂ en un 99.8%.

Figura 12

Aditivo Aerosil 200



Nota: Saco 10 Kg. de aditivo de Aerosil® 200.

Tabla 26

Datos físicos-químicos del Aerosil® 200

Características	Unidad	Valores orientativos
Superficie específica	m ² /g	200 ± 25
Densidad aparente según DN EN ISO 787/11 Agosto 1983	g/l	Aprox. 50
Humedad* 2h a 105°C	Peso %	≤ 1.5
Perdida ignición 2h a 1000°C basado en el material secado durante (2h a 105°C)	Peso %	≤ 1.0
pH en dispersión al 4%		3.7 – 4.5
Contenido SiO ₂ Basado en el material incendiado	Peso %	>99.8

Nota: Los datos representan valores típicos según especificaciones de (Evonik, 2021)

3.7.6. Agua.

Esta sustancia (H₂O) es la más importante en la ejecución de morteros, siendo esencial para las mezclas de hormigones de tal forma que dependiendo del contenido de agua y en diferentes porcentajes se elabora las dosificaciones del hormigón alterando varios parámetros como la resistencia, trabajabilidad,

plasticidad entre otros. Según lo establece el (MOP, 2002) el agua debe necesariamente cumplir con condiciones para la elaboración de morteros y hormigones, tal y como se representa en la Tabla 27.

Tabla 27

Porcentajes de impurezas del agua

Impurezas	%
Acidez y alcalinidad calculadas en términos de carbonato de calcio	0,05
Solidos orgánicos total	0,05
Solidos inorgánicos total	0,05

Nota: Para la elaboración de morteros el agua debe comprender un porcentaje de impurezas máximos.

3.8. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Para el diseño de mezclas de hormigón nos basamos en una de las normas más importantes y sencilla de desarrollar utilizando la metodología ACI donde se fundamenta el contenido, peso y volumen de materiales como el agua, cemento agregados finos y gruesos a utilizar, cada uno de estos componentes en unidad de metro cúbico, para la correcta dosificación de los hormigones.

3.8.1. Revenimiento.

La elección del revenimiento dependerá del tipo de construcción u estructura que se vaya a emplear, que nos sirva para el desempeño eficaz de la consistencia del hormigón, en este proyecto de investigación se eligió los valores para columnas y vigas que su revenimiento es de 10 cm máximo y 2,5 cm mínimo, de acuerdo con los valores representados en la Tabla 28.

En la Figura 13 se puede observar el procedimiento de la toma del revenimiento de una mezcla de hormigón por medio del cono de Abrams, considerando los requerimientos de diseño preestablecidos para la elaboración de la misma; en el presente estudio, se estimó un asentamiento de 7,5 cm a 10 cm, cumpliendo en las 3 resistencias propuestas (21 MPa, 24 MPa y 28 MPa), y con los diferentes porcentajes de adición de Nanosílice (2%, 2,5%, 3%, y 3,5%).

Tabla 28

Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción

Tipo de construcción	Revenimiento cm	
	Máximo	Mínimo
Muros de subestructura sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Nota: Revenimientos establecidos por la (ACI 211).

Figura 13

Ensayo del cono de Abrams



Nota: Ensayo del asentamiento de la mezcla de hormigón por medio del cono de Abrams.

3.8.2. Determinación de contenido de Agua de la mezcla

Para determinar el contenido de agua para la mezcla de hormigón nos fundamentamos en la normativa ACI 211, en esta investigación se requiere de acuerdo a nuestro tamaño máximo nominal del agregado grueso el cual fue de 1" (25mm) como lo señala la norma, de acuerdo a nuestro revenimiento 7,5-10 el contenido de agua para la mezcla de diseño de hormigón sin aire incluido será de 193kg/m³; de igual forma la normativa establece que se asuma una cantidad aproximada de aire atrapado el cual corresponde al 1.5%, tal y como lo representa la Tabla 29.

Tabla 29

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

Agua, Kg/m³ concreto para TMG, (mm)									
Revenimiento, cm	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150	
Concreto sin aire incluido									
De 2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113	
De 7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124	
De 15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---	
Cantidad aprox. aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incluido									
De 2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107	
De 7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119	
De 15 a 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---	
Promedio recomendado de aire por incluir por exposición									
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0	
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	

Nota: Requisitos de agua de mezclado según lo establece (ACI 211)

3.8.3. Determinación de Relación Agua/Cemento

La relación de agua cemento corresponde a uno de los parámetros más relevantes del diseño de hormigón de esta relación depende principalmente de la resistencia y durabilidad del hormigón, debemos regirnos de la tabla que nos plantea ACI 211.

Esta relación interviene de igual manera la porosidad de la masa de cemento endurecida en alguna edad de hidratación, desde el punto de vista de (Wilmer Balón, 2021, pág. 72) argumenta que es inversamente proporcional de la porosidad y resistencia, caso contrario el desborde de agua a la mezcla realizada se verá afectada dando como resultado una resistencia baja, pero con un hormigón permeable.

De acuerdo con las resistencias de diseños establecidas en la presente investigación se efectuaron las respectivas interpolaciones con los valores establecidos de la Tabla 30 para determinar la relación óptima agua/cemento, la cual queda de la siguiente manera:

Tabla 30*Relación Agua/cemento*

A/C	Kg/cm ³
0.70	140
0.65	190
0.60	210
0.55	250
0.50	290
0.45	310
0.40	350
0.35	390
0.30	410

Nota: Relación agua/cemento para un diseño de hormigón. (ACI 211)

Debido a las diferentes resistencias que se efectúan en esta investigación la relación de agua cemento varía para cada mezcla de hormigón, según lo representa la Tabla 31.

Tabla 31*Relación agua/cemento para cada diseño*

Relación A/C		
$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
0,49	0,43	0,38

Nota: Relación agua/cemento para cada diseño.

3.8.4. Determinación de Resistencia

Para la determinar este parámetro nos basamos en lo que señala la norma ACI 211 los valores que nos proporciona son valores extras que tienen que ser sumados para la determinación de la resistencia promedio, se muestran en la Tabla 32 los valores en el caso que no existan datos de desviación estándar (f'_{cr}), para este diseño de hormigón de esta presente investigación se utiliza la formula $f'_{cr} = f'c + 85 \text{ Kg/cm}^2$ debido a que nuestro enfoque será para hormigones con resistencia de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa.

Tabla 32*Desviación estándar en caso de que no existan datos*

F'c	Unidad	f'cr
<210	Kgf/cm ²	f'c + 70
210>f'c>350	Kgf/cm ²	f'c + 85

Nota: Desviación estándar en caso de que no haya datos.

3.8.5. Determinación de cantidad de cemento Portland

Para calcular el porcentaje de cemento portland es necesario obtener principalmente los datos del contenido de agua con respecto a la relación de agua cemento (Tabla 33), cabe recalcar que se debe considerar el peso del cemento a utilizar que en este proyecto de investigación se utilizó cemento tipo GU de Holcim fuerte de 50 kg para la obtención de números de sacos de cementos que se requieren para todas las probetas de hormigón.

Tabla 33

Ecuación para determinar cantidad de cemento

$$C = \frac{A}{A/C}$$

C:	Cantidad de cemento por cada metro cubico de hormigón
A:	Cantidad de agua seleccionada
A/C:	Relación Agua/Cemento

Nota: Ecuación de la cantidad de cemento a utilizar por metro cubico en una mezcla de hormigón.

Tabla 34

Cantidad de cemento para cada diseño

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
393,88 kg/m ³	446,24 kg/m ³	504,58 kg/m ³

Nota: Cantidad de cemento a utilizarse por metro cúbico según su resistencia en el presente caso de estudio.

3.8.6. Determinación de la cantidad de áridos finos y gruesos

Debido a los materiales que se requieren en las mezclas de hormigones, es necesario puntualizar y saber el porcentaje de agregados que se necesita para este tipo de ensayos, de manera que cumplan con los requisitos y las normas establecidas; por tanto en este presente trabajo se utiliza la metodología del volumen de pasta estableciendo el criterio del 60% de grava y un 40% restante de arena del volumen total de los agregados como lo argumenta (Barrionuevo, Tapia, 2021, pág. 63)

En la Figura 14 se puede observar la cantidad de agregados, tanto grueso como fino para la elaboración de una mezcla de hormigón según su resistencia y los porcentajes de Nanosílice adoptados para el desarrollo del presente caso de estudio.

Figura 14

Cantidad de agregados para la mezcla



Nota: Cantidad de agregados para una mezcla determinada de hormigón.

3.8.7. Volumen de agregado grueso

Para la determinación del volumen del árido grueso tomamos los datos que proporciona la norma ACI 211; para el presente trabajo, debido a que nuestra granulometría nos dio como tamaño máximo nominal, tal y como lo muestra la Tabla 35 del agregado grueso, con una dimensión de 25 mm el cual corresponde al módulo de finura de 0,71.

Cabe resaltar que para la elaboración de la mezcla se realizaban 2 paradas, es decir, se dividía en 2 la cantidad de materiales, ya que la mezcladora con la que se cuenta en el laboratorio de suelos es para máximo, 1 saco de cemento de 50 Kg.

Tabla 35*Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto*

Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de finura del agregado			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5mm	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5mm	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm	0.66	0.64	0.62	0.6
25 mm	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm	0.78	0.76	0.74	0.72
75 mm	0.82	0.8	0.78	0.76
150 mm	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota: Diseño de mezclas de concreto según norma. (ACI 211)

Para obtener la cantidad de agregado grueso para el diseño de mezcla se resuelve mediante la ecuación:

$$\text{Cantidad de agregado grueso} = MFA \times PVV$$

Donde:

MFA: Modulo de finura del agregado

PVV: Peso volumétrico varillado de la grava

3.8.8 Volumen de agregado fino

Se empleará en la siguiente investigación la metodología de cálculo de volúmenes absolutos, basándonos en la tabla referencial de la norma ACI 211 de acuerdo con los volúmenes para áridos finos (Tabla 36).

Tabla 36*Volumen de agregado fino*

Materiales	W(kg)	D(kg/cm3)	V(m3)
Agua	216,00	1000	0,22
Cemento	473,68	2950	0,16
Grava	875,12	2098,64	0,42
Aire			0,02
Suma de valores			1,00

Nota: Tabla de volúmenes establecidos por la ACI 211.

3.8.9. Determinación de Nanosílice

De acuerdo con los datos físico-químicos del Aerosil® 200, descritos en la Tabla 37 señala que la densidad aparente para este aditivo es de 50g/l (50 Kg/m³) ese es el valor por usar en la dosificación del diseño de hormigón. Debido a los datos referenciales que nos proporciona la ficha técnica, se procedió a calcular la densidad relativa que fue de 55 kg/m³ para el diseño de hormigón propuesto.

Tabla 37

Datos físicos-químicos

Características	Unidad	Valores orientativos
Densidad aparente según DN EN ISO 787/11	g/l	Aprox. 50

Nota: Densidad del Aerosil® 200 (Evonik, 2021)

3.9. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Las diferentes probetas de hormigón fueron ejecutadas en el laboratorio de suelos de la facultad de ciencias de la ingeniería de la Universidad Estatal península de Santa Elena, realizando probetas cilíndricas con dimensión de aproximadamente 15 cm de diámetro x 30 cm de altura estos requerimientos y parámetros indicados por la norma deben ser cumplidos estrictamente, estas mismas utilizadas para la aceptación del hormigón partiendo desde la elaboración de los diseños patrones de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa siguiendo con la metodología ACI 211, en estas resistencias mencionadas se desarrolla la adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.

A continuación, en la Tabla 38, se detalla la cantidad de materiales que se va a utilizar para un metro cubico de una mezcla de hormigón de 210 Kg/cm², de la misma manera, en la Tabla 39 se detalla la cantidad de materiales a utilizarse de una mezcla de hormigón de 240 Kg/cm², y por último, en la Tabla 40 se detalla la cantidad de materiales de una mezcla de hormigón de 280 Kg/cm².

Dichas dosificaciones serán sin adición de nanosílice, y permitirán servir de muestras de control para la dosificación con adición de nanosílice, siempre y cuando cumplan con las resistencias según sus días de rotura.

3.9.1. Dosificación para hormigón patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 38

Mezcla patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón

	W(kg)	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)
Agua	198,4	1000	0,19
Cemento	437,1	2950	0,15
Grava	1154,1	2590,67	0,45
Arena	766,5	2631,58	0,29
Aire			0,02
Total	2556,2		1,10

Nota: Diseño patrón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

3.9.2. Dosificación para hormigón patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 39

Mezcla patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón

	W(kg)	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)
Agua	199,7	1000	0,20
Cemento	494,8	2950	0,17
Grava	1153,1	2590,67	0,45
Arena	640,30	2631,58	0,24
Aire			0,02
Total	2500,35		1,10

Nota: Diseño patrón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$.

3.9.3. Dosificación para hormigón patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 40

Mezcla patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ para 1m^3 de hormigón

	W(kg)	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)
Agua	201,13	1000	0,20
Cemento	559,02	2950	0,19
Grava	1152,09	2590,67	0,44
Arena	652,75	2631,58	0,25
Aire			0,02
Total	2564,99		1,10

Nota: Diseño patrón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$.

3.9.4. Diseño de mezcla de hormigón con porcentaje de 2% 2,5% 3% y 3,5% de Nanosílice en resistencia de 21 MPa, 24 MPa, y 28 MPa.

a) Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice. La Tabla 41 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 210 Kg/cm^2 con adición del 2% de Nanosílice.

Tabla 41

Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,15	2950	437,1
Grava	0,45	2590,67	1154,1
% sílice	0,02	50	8,7
Arena	0,27	2631,58	708,7
Agua	0,198	1000,00	198,4
Total	1,10		2507,0

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.

b) Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. La Tabla 42 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 210 Kg/cm^2 con adición del 2,5% de Nanosílice.

Tabla 42

Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,15	2950	437,1
Grava	0,45	2590,67	1154,1
% sílice	0,03	50	1,4
Arena	0,26	2631,58	694,2
Agua	0,198	1000,00	198,4
Total	1,10		2485,2

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.

c) *Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.* La Tabla 43 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 210 Kg/cm^2 con adición del 3% de Nanosílice.

Tabla 43

Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,15	2950	437,1
Grava	0,45	2590,67	1154,1
% sílice	0,03	50	1,7
Arena	0,26	2631,58	679,7
Agua	0,198	1000,00	198,4
Total	1,10		2471

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.

d) *Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice.* La Tabla 44 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 210 Kg/cm^2 con adición del 3,5% de Nanosílice.

Tabla 44

Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,15	2950	437,1
Grava	0,45	2590,67	1154,1
% sílice	0,04	50	1,9
Arena	0,25	2631,58	665,2
Agua	0,198	1000,00	198,4
Total	1,10		2456,8

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice.

e) **Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.** La Tabla 45 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 240 Kg/cm^2 con adición del 2% de Nanosílice.

Tabla 45

Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,17	2950	494,8
Grava	0,45	2590,67	1153,1
% sílice	0,02	50	1,10
Arena	0,25	2631,58	654,8
Agua	0,20	1000,00	199,7
Total	1,10		2503,55

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.

f) **Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.** La Tabla 46 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 240 Kg/cm^2 con adición del 2,5% de Nanosílice.

Tabla 46

Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,02		
Cemento	0,17	2950	494,8
Grava	0,45	2590,67	1153,1
% sílice	0,028	50	1,38
Arena	0,24	2631,58	640,3
Agua	0,20	1000,00	199,7
Total	1,10		2489,35

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice.

g) Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. La Tabla 47 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 240 Kg/cm^2 con adición 3% de Nanosílice.

Tabla 47

Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,168	2950	494,8
Grava	0,445	2590,67	1153,1
% sílice	0,033	50	1,65
Arena	0,238	2631,58	625,82
Agua	0,200	1000,00	199,7
Total	1,100		2475,15

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.

h) Dosificación para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice. La Tabla 48 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 240 Kg/cm^2 con adición 3,5% de Nanosílice.

Tabla 48

Dosificación para $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,168	2950	494,8
Grava	0,445	2590,67	1153,1
% sílice	0,039	50	1,93
Arena	0,232	2631,58	611,35
Agua	0,200	1000,00	199,7
Total	1,100		2460,95

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice.

i) Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice. La Tabla 49 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 280 Kg/cm^2 con adición del 2% de Nanosílice.

Tabla 49

Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,189	2950	559,0
Grava	0,445	2590,67	1152,1
% sílice	0,022	50	1,10
Arena	0,226	2631,58	652,75
Agua	0,201	1000,00	201,13
Total	1,10		2566,09

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice.

j) Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. La Tabla 50 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 280 Kg/cm^2 con adición del 2,5% de Nanosílice.

Tabla 50

Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,189	2950	559,02
Grava	0,445	2590,67	1152,09
% sílice	0,028	50	1,38
Arena	0,221	2631,58	652,75
Agua	0,201	1000,00	201,13
Total	1,100000		2566,36

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. (Marcial H. y Navarrete I., 2022)

k) Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. La Tabla 51 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 280 Kg/cm^2 con adición del 2% de Nanosílice.

Tabla 51

Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,189	2950	559,0
Grava	0,445	2590,67	1152,1
% sílice	0,033	50	1,65
Arena	0,215	2631,58	652,75
Agua	0,201	1000,00	201,13
Total	1,100		2566,64

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice.

l) Dosificación para $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice. La Tabla 52 detalla los valores por metro cúbico a utilizarse para la fundición de una mezcla de hormigón de 280 Kg/cm^2 con adición del 3,5% de Nanosílice.

Tabla 52

Dosificación para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice para un 1m^3 de hormigón

	Vol. material (m^3)	Densidad (kg/m^3)	W(kg)
Aire	0,017		
Cemento	0,189	2950	559,0
Grava	0,445	2590,67	1152,1
% sílice	0,039	50	1,93
Arena	0,210	2631,58	652,75
Agua	0,201	1000,00	201,1
Total	1,10		2566,91

Nota: Diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice. (Marcial H. y Navarrete I., 2022)

- ✓ *Hormigón de cemento hidráulico: Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo INEN 1576.* Esta metodología de ensayo consiste en ejecutar cilindros de hormigón y vigas, posterior proceder a curarlos, su debida protección y transporte de especímenes como lo establece (INEN 1576, 2011), este tipo de procedimiento para el hormigón es importante ya que nos ayuda para el control de calidad, determinar si

nuestra mezcla esta apta para ser puesta en obra y para la verificación de la dosificación si la mezcla realizada cumple con la resistencia que se requiere.

Tabla 53

Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación

Diámetro del cilindro o ancho de la viga (mm)	Diámetro de la varilla (mm)
< 150	10±2
≥150	16±2

Nota: Requisitos para el diámetro de la varilla de compactación. (INEN 1576, 2011)

Tabla 54

Requisitos para determinar el método de compactación

Asentamiento (mm)	Método de compactación (mm)
≥25	Varillado o vibración
<25	vibración

Nota: Requisitos para la determinación de la compactación. (INEN 1576, 2011)

3.9.5. Proceso de llenado, compactado y curado

Realizados nuestros diseños para cada una de las dosificaciones que requiere este presente trabajo se procede a realizar el proceso de llenado, compactado y curado en donde se harán uso de cilindros y vigas para el hormigón (Tabla 53), para el método del llenado de hormigón en los moldes se vacía el hormigón cada 3 capas para que estas sean compactadas de manera que se vean sometidas a 25 golpes con la varilla de acero dentro de la probeta de la misma manera se somete a 10 golpes por capa haciendo uso de un mazo (Tabla 54); estas muestras deben cumplir 24 horas a partir de su elaboración, luego desencofrarlas de los moldes de cilindros y por último el proceso de curado; estos especímenes están diseñados para un tiempo de curado de 3,7,14 y 28 días como lo indica la normativa.

En la Figura 15 se observa el vaciado y compactado de la mezcla de hormigón en las probetas correspondientes, de igual forma, la colocación de las probetas endurecidas en

las piscinas de curado; todo esto bajo la supervisión de nuestra Docente encargada del Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Civil. (ver Anexo 8)

Figura 15

Proceso de elaboración de probetas de hormigón



Nota: Elaboración de las probetas de hormigón e inspección de la Ing. Lucrecia Moreno MSc., directora de la Unidad de Integración Curricular.

Figura 16

Piscinas de curado



Nota: Colocación de las probetas de hormigón en las piscinas de curado.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología para la evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosílice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3% y ,3,5% a continuación, se presentará el análisis de los resultados obtenidos de los ensayos a los que fueron sometidos los agregados del hormigón con el fin de corroborar la hipótesis planteada en la presente investigación.

4.1. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO F'C = 210 KG/CM²

4.1.1. Diseño patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

En la Tabla 55 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 55

Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ Patrón

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
	1		15,160	15,170	15,165	30,210	180,624	12,613
	2		15,250	15,020	15,135	30,180	179,910	12,764
Patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	1	6/6/2022	15,090	15,050	15,070	30,030	178,368	12,558
	2		15,160	14,990	15,075	29,990	178,487	12,365
	1		15,210	15,140	15,175	30,050	180,862	12,322
	2		15,090	15,130	15,110	30,010	179,316	12,114
Revenimiento = 10 cm	1		15,150	15,220	15,185	30,140	181,101	12,696
	2		15,110	15,080	15,095	30,070	178,960	12,812

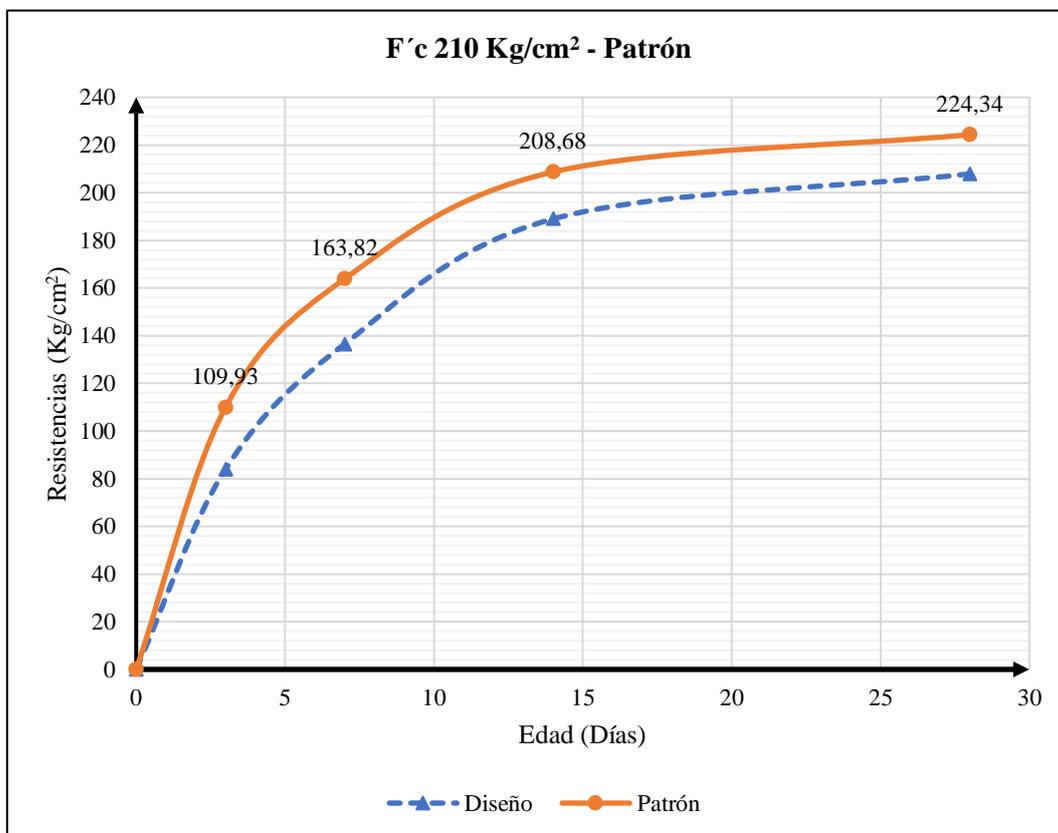
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 55.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
9/6/2022	3	189,30	10,71	109,2116	52,35	109,93	40	84
		191,80	10,85	110,6392				
13/6/2022	7	285,90	16,17	164,8881	78,01	163,82	65	136,5
		282,00	15,96	162,7467				
20/7/2022	14	364,10	20,61	210,1635	99,37	208,68	90	189
		349,20	20,32	207,2063				
4/7/2022	28	386,30	21,85	222,8079	106,83	224,34	99	207,9
		391,60	22,15	225,8671				

Nota: Muestra los valores obtenidos del diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 17

Curva de resistencia a la compresión del diseño Patrón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ de acuerdo con los días de ruptura.

a) *Análisis del comportamiento a compresión del diseño patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.* En la Figura 17 se proyecta la curva de control señalando las resistencias

que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, en el cual se determina que en el diseño patrón propuesto existe un incremento de las resistencias en comparación con lo que indica la normativa, alcanzando una resistencia de $224,34 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

4.1.2. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice

En la Tabla 56 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2,0%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 56

Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 2%	1	23/6/2022	15,050	15,290	15,170	30,070	180,743	12,247
	2		15,110	15,180	15,145	30,010	180,148	12,267
	1		15,030	15,160	15,095	29,750	178,960	12,140
	2		15,010	15,080	15,045	30,020	177,777	12,000
	1		15,140	15,190	15,165	30,040	180,624	12,318
	2		15,110	15,050	15,080	30,000	178,605	12,325
Revenimiento = 10 cm	1		15,010	15,000	15,005	30,010	176,833	12,287
	2		15,130	15,080	15,105	30,000	179,198	12,322

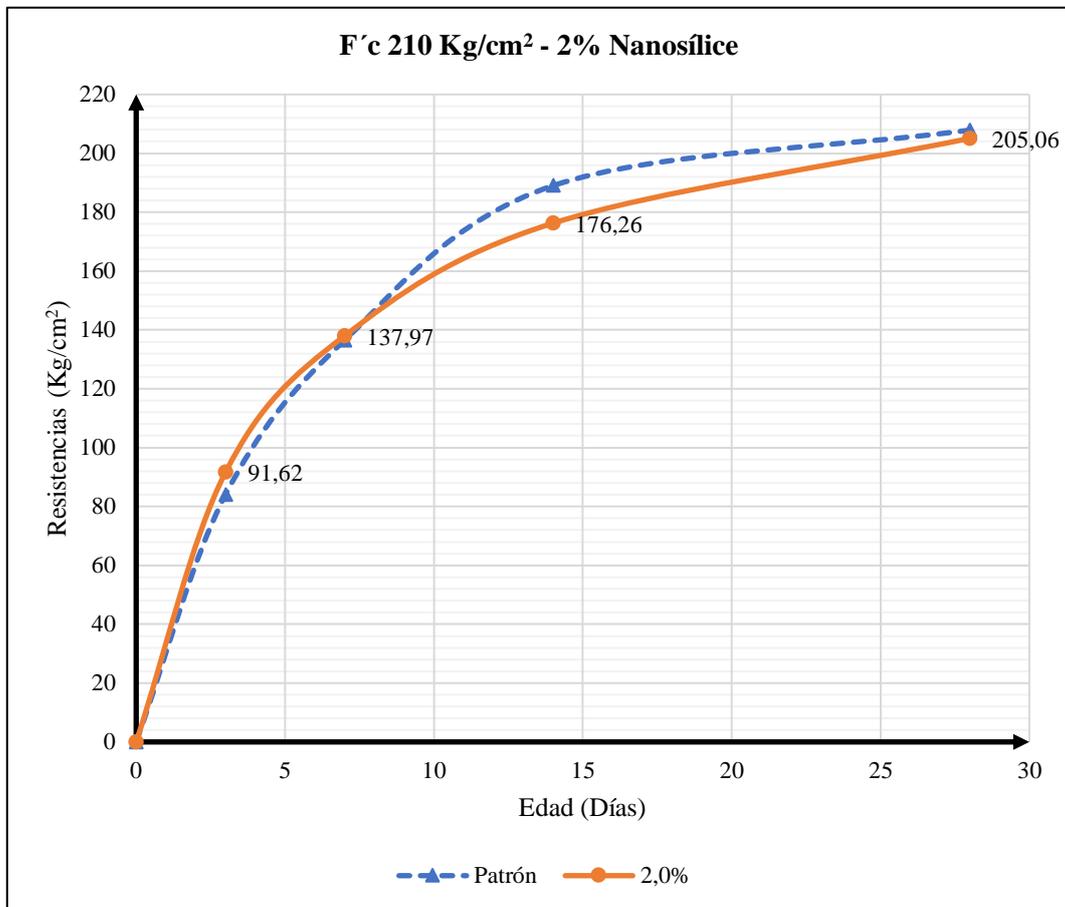
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 56.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
26/6/2022	3	155,30	8,79	89,6330	43,63	91,62	40	84
		162,20	9,18	93,6099				
30/6/2022	7	234,2	13,25	135,1124	65,70	137,97	65	136,5
		244,10	13,81	140,8228				
7/7/2022	14	297,60	16,86	171,9241	83,93	176,26	90	189
		313,00	17,71	180,5917				
21/7/2022	28	349,58	19,78	201,6998	97,65	205,06	99	207,9
		361,24	20,44	208,4300				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2% en el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 18

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,0% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice. En la Figura 18 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2,0% de Nanosílice, se determina que a los 3 y 7 días supera el porcentaje de resistencia de diseño, sin embargo, a partir de los 14 días, dicha resistencia baja y alcanza un valor de 205,06 Kg/cm^2 a los 28 días, ubicándose por debajo de la resistencia de diseño.

4.1.3. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

En la Tabla 57 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 57

Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 2,5%	1	23/6/2022	15,160	14,900	15,030	30,040	177,423	12,285
	2		15,230	15,140	15,185	30,260	181,101	12,314
	1		15,180	15,050	15,115	30,110	179,435	12,152
	2		15,110	15,120	15,115	30,000	179,435	12,133
	1		15,180	15,180	15,180	30,050	180,982	12,119
	2		15,120	15,090	15,105	30,120	179,198	12,042
Revenimiento = 10 cm	1		15,090	15,010	15,050	30,000	177,895	12,141
	2		15,012	15,011	15,012	30,014	176,986	12,155

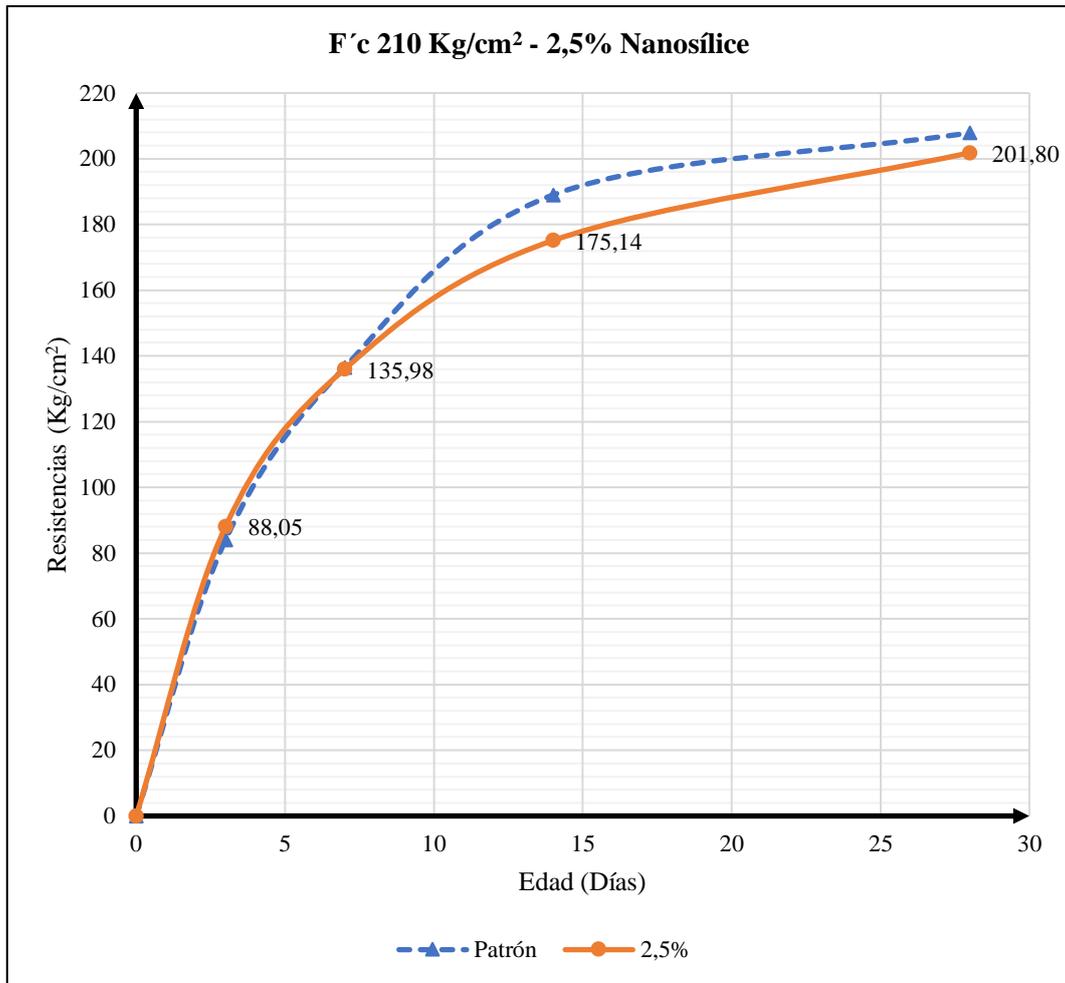
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 57.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
26/6/2022	3	139,80	7,92	80,7615	41,93	88,05	40	84
		165,00	9,35	95,3434				
30/6/2022	7	240,02	13,61	138,7833	64,75	135,98	65	136,5
		230,50	13,06	133,1749				
7/7/2022	14	316,70	17,92	182,7331	83,40	175,14	90	189
		290,37	16,43	167,5393				
21/7/2022	28	346,57	19,61	199,9663	96,10	201,80	99	207,9
		352,93	19,97	203,6373				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2,5% en el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 19

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2,5% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. En la Figura 19 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2,5% de Nanosílice, se determina que a los 3 y 7 días supera estrechamente el porcentaje de resistencia de diseño, sin embargo, a partir de los 14 días, dicha resistencia baja y alcanza un valor de 201,80 Kg/cm^2 a los 28 días, ubicándose por debajo de la resistencia de diseño.

4.1.4. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

En la Tabla 58 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 58

Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 3%	1	24/6/2022	15,110	15,090	15,100	30,030	179,079	12,241
	2		15,080	15,020	15,050	30,090	177,895	12,226
	1		15,050	15,150	15,100	30,000	179,079	12,157
	2		15,010	15,040	15,025	30,020	177,305	12,203
	1		15,150	15,030	15,090	30,110	178,842	12,186
	2		15,020	15,070	15,045	30,000	177,777	12,059
Revenimiento = 10 cm	1		15,090	15,040	15,065	30,020	178,250	12,011
	2		15,120	15,080	15,100	30,080	179,079	12,087

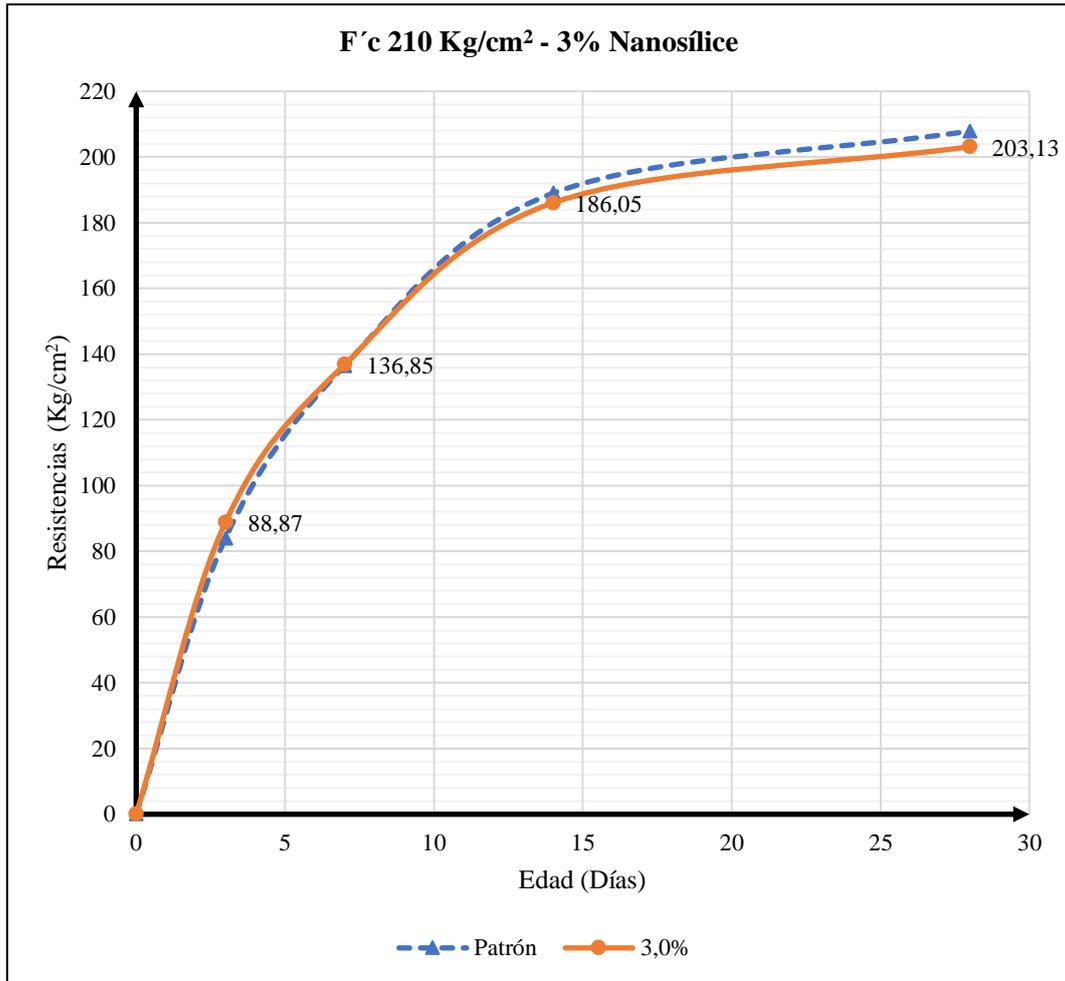
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 57.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
27/6/2022	3	155,20	8,78	89,53	42,32	88,87	40	84
		152,80	8,65	88,21				
1/7/2022	7	230,50	13,05	133,07	65,16	136,85	65	136,5
		243,60	13,79	140,62				
8/7/2022	14	329,60	18,66	190,28	88,59	186,05	90	189
		314,93	17,83	181,82				
22/7/2022	28	370,36	20,33	207,31	96,73	203,13	99	207,9
		355,42	19,51	198,95				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3% en el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$. (Marcial H. y Navarrete I., 2022)

Figura 20

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. En la Figura 20 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 3% de Nanosílice, se determina que a los 3 y 7 días supera estrechamente el porcentaje de resistencia de diseño, sin embargo, a partir de los 14 días, dicha resistencia baja y alcanza un valor de $203,13 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, ubicándose por debajo de la resistencia de diseño.

4.1.5. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

En la Tabla 59 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 59

Informe de roturas de cilindro - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ 3,5%	1	24/6/2022	15,030	15,010	15,020	30,000	177,187	11,971
	2		15,070	15,000	15,035	30,110	177,541	11,967
	1		15,060	15,010	15,035	30,060	177,541	11,860
	2		15,010	15,050	15,030	30,040	177,423	11,883
	1		15,030	15,011	15,021	30,010	177,198	11,927
	2		15,030	15,130	15,080	30,030	178,605	12,011
Revenimiento = 10 cm	1		15,000	15,060	15,030	30,010	177,423	11,976
	2		15,070	15,010	15,040	30,000	177,659	11,925

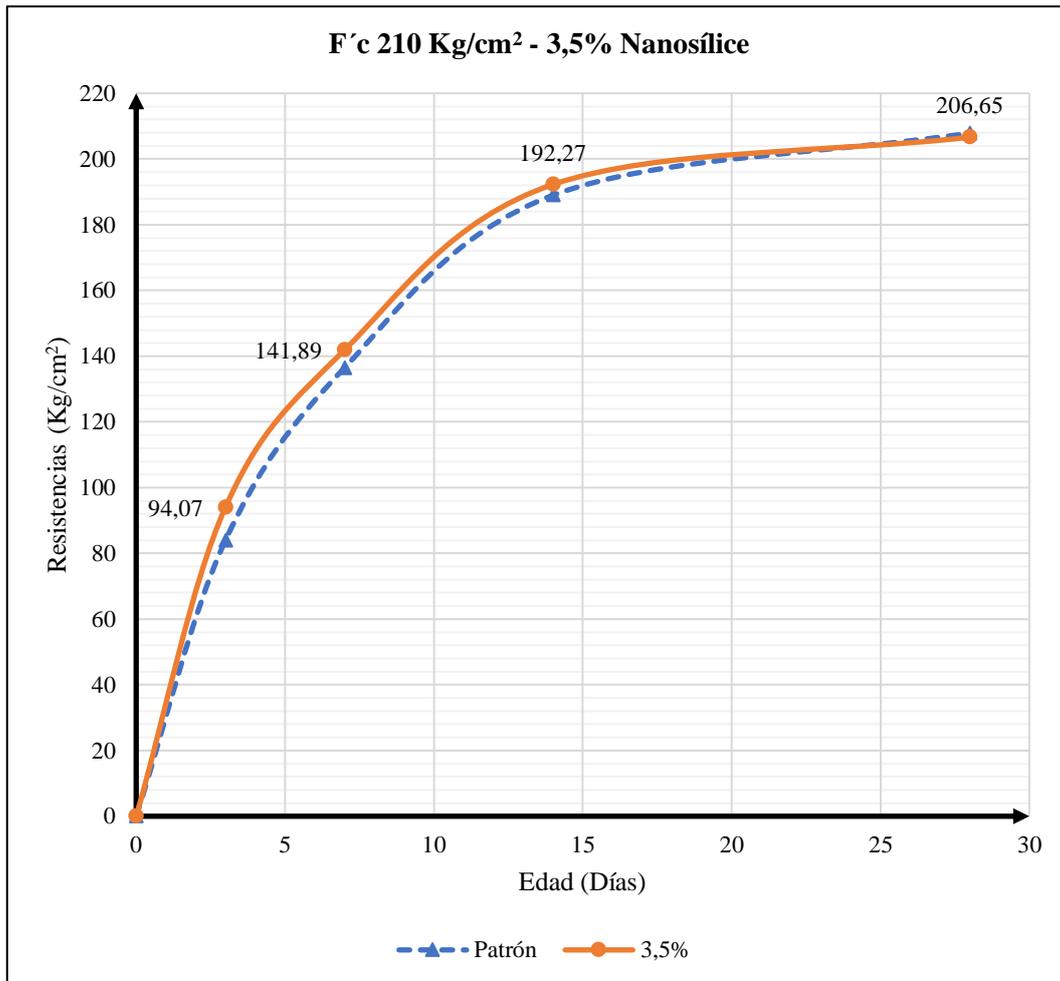
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 59.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
27/6/2022	3	160,80	9,11	92,8961	44,79	94,07	40	84
		164,80	9,34	95,2415				
1/7/2022	7	252,00	14,22	145,0036	67,57	141,89	65	136,5
		241,20	13,61	138,7833				
8/7/2022	14	332,40	18,76	191,2987	91,56	192,27	90	189
		335,60	18,95	193,2362				
22/7/2022	28	366,06	20,66	210,6733	98,40	206,65	99	207,9
		351,89	19,87	202,6176				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3,5% en el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 21

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílíce



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3,5% Nanosílíce de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílíce. En la Figura 21 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 3,5% de Nanosílíce, se determina que a los 3, 7 y 14 días supera el porcentaje de resistencia de diseño, sin embargo, a partir a los 28 días, existe una pequeña disminución alcanzado un valor de $206,65 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días, ubicándose por debajo de la resistencia de diseño.

4.1.6. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 210$ Kg/cm² por porcentaje de Nanosílice

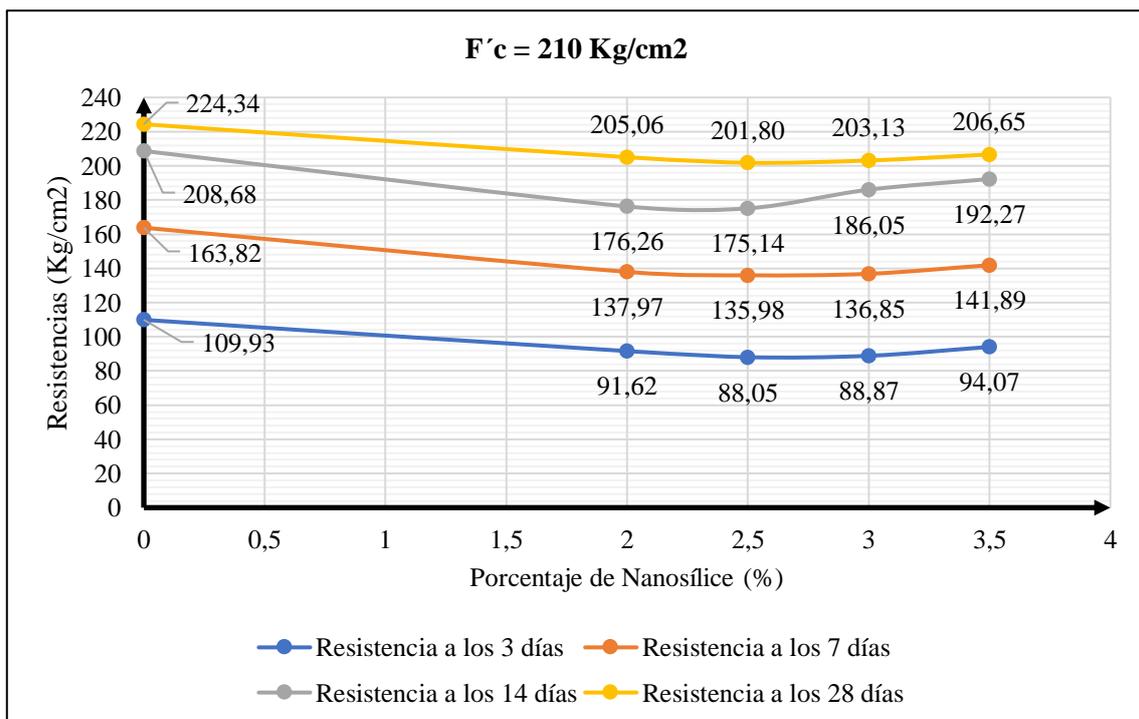
Todas las dosificaciones de diseño con adición de Nanosílice experimentaron un incremento en su resistencia a los 3 y 7 días de curado, en comparación con la resistencia sugerida por la normativa, es decir el 40% y 65% respectivamente, sin embargo, posterior a los 14 y 28 días, sus valores declinaron.

El diseño de $f'c = 210$ Kg/cm² con 3,5% de Nanosílice fue el hormigón que menos declinación en sus resistencias experimentó, tal y como lo muestra la Figura 21, en los 3, 7 y 14 días mantuvo valores por encima de lo normado (40%, 65% y 90% de su resistencia), mientras que al día 28 (99%), dicha resistencia declino, pero ínfimamente.

La Figura 22 permite diferenciar el comportamiento del diseño con sus respectivos porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de roturas.

Figura 22

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=210$ Kg/cm² con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=210$ Kg/cm² con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.2. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO F'C = 240 KG/CM²

4.2.1. Diseño patrón f'c = 240 Kg/cm²

En la Tabla 60 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de f'c = 240 Kg/cm², se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 60

Informe de roturas de cilindro - f'c=240 Kg/cm² - Patrón

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón f'c = 240 Kg/cm ²	1	2/6/2022	15,470	15,430	15,450	31,070	187,477	12,557
	2		15,020	15,160	15,090	30,020	178,842	12,707
	1		15,130	15,070	15,100	30,100	179,079	12,700
	2		15,170	15,120	15,145	30,190	180,148	12,640
	1		15,190	15,400	15,295	30,090	183,734	12,682
	2		15,050	15,120	15,085	30,040	178,723	12,493
Revenimiento = 10 cm	1		15,090	15,010	15,050	30,010	177,895	12,363
	2		15,110	15,080	15,095	30,070	178,960	12,148

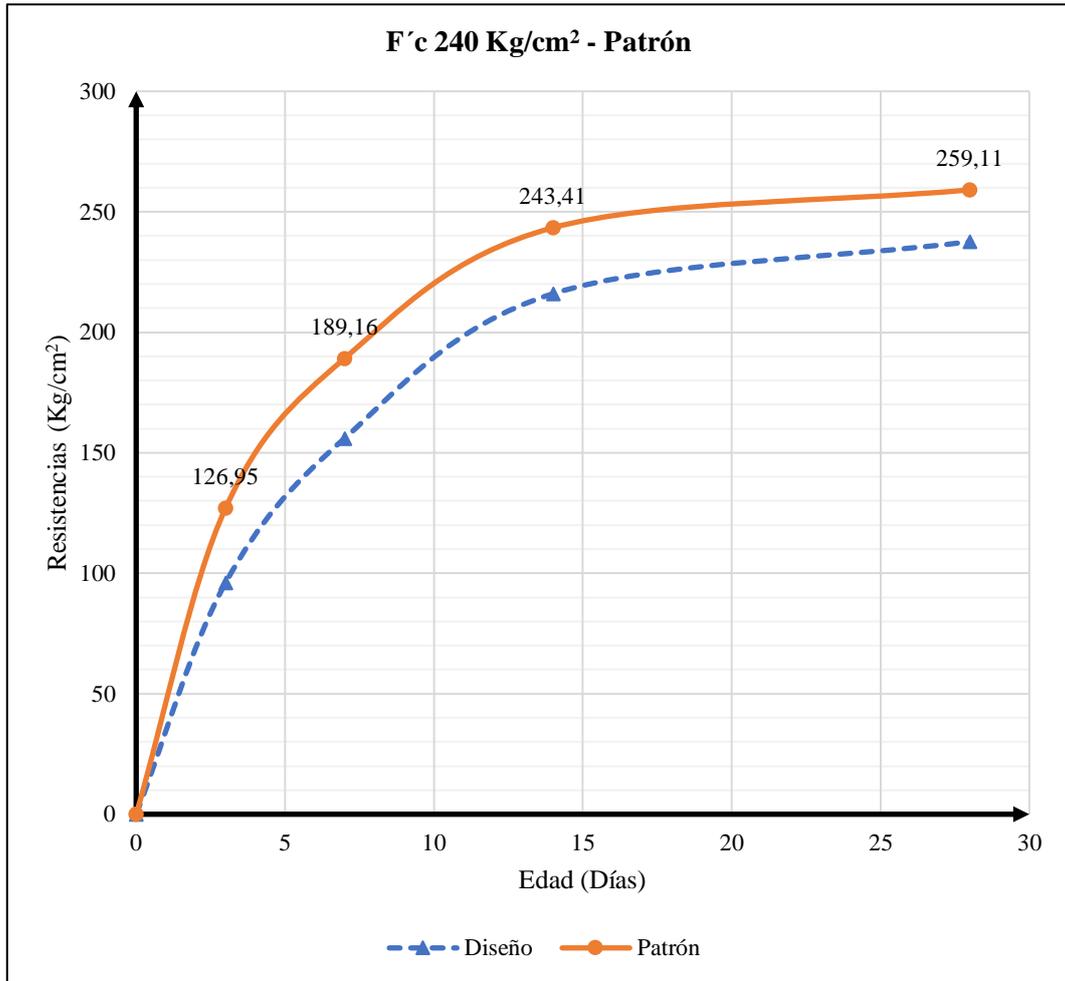
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 60.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
3/6/2022	3	218,20	12,20	124,4054	52,90	126,95	40	96
		227,02	12,70	129,5039				
9/6/2022	7	338,20	18,92	192,9303	78,82	189,16	65	156
		324,92	18,18	185,3844				
16/6/2022	14	422,60	23,64	241,0609	101,42	243,41	90	216
		430,80	24,10	245,7516				
30/6/2022	28	463,30	25,92	264,3104	107,96	259,11	99	237,6
		445,10	24,90	253,9093				

Nota: Muestra de los valores obtenidos del diseño de hormigón de f'c=240 Kg/cm².

Figura 23

Curva de resistencia a la compresión del diseño de hormigón $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del diseño patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$. En la Figura 23 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$, en el cual se determina que en el diseño patrón propuesto existe un incremento de las resistencias en comparación con lo que indica la normativa, alcanzando una resistencia de $259,11 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

4.2.2. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice

En la Tabla 61 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 61

Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,0% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ 2%	1	21/6/2022	14,970	15,030	15,000	30,080	176,715	12,034
	2		15,120	15,130	15,125	30,070	179,673	11,989
	1		15,150	15,150	15,150	30,020	180,267	12,087
	2		15,170	15,150	15,160	30,090	180,505	12,113
	1		15,190	15,190	15,190	30,040	181,220	12,125
	2		15,210	15,180	15,195	30,070	181,339	12,097
Revenimiento = 10 cm	1		15,120	15,240	15,180	30,020	180,982	12,252
	2		15,080	15,100	15,090	30,010	178,842	12,197

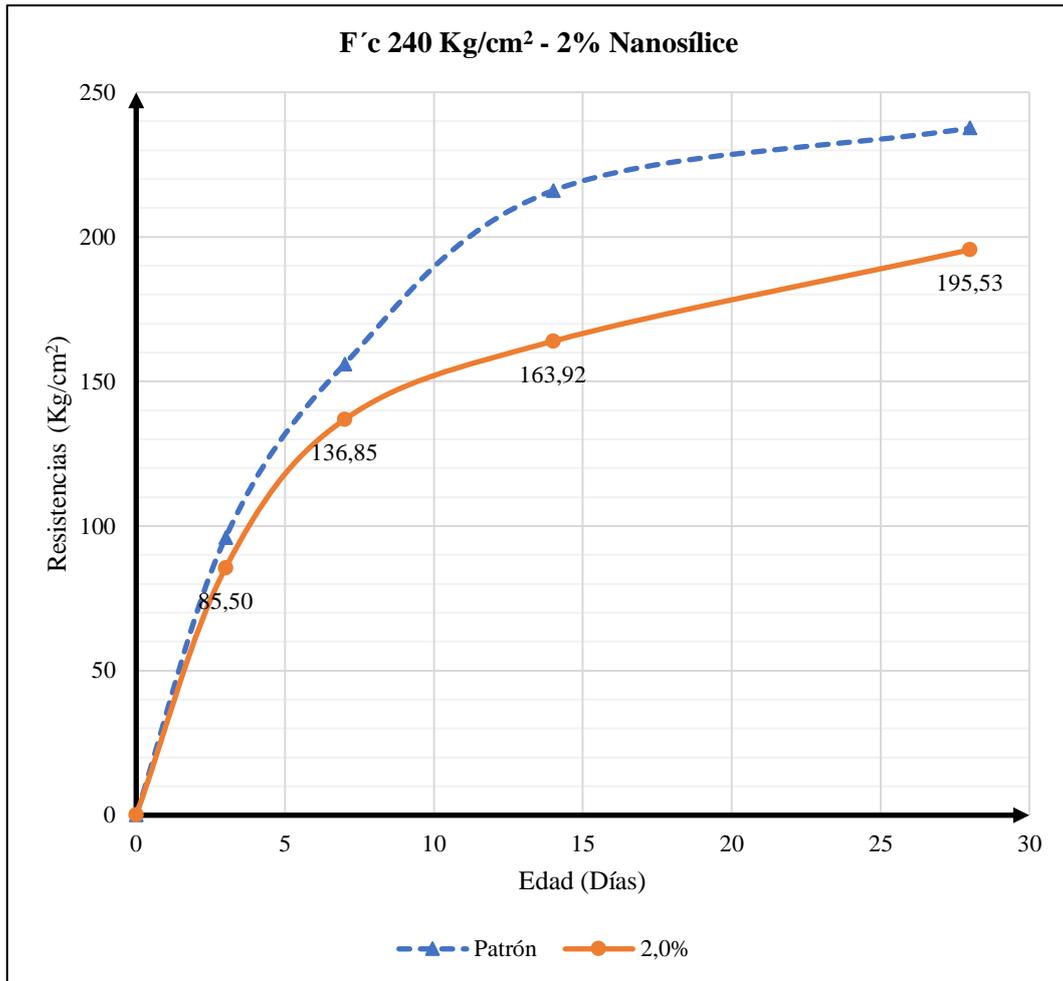
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 61.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
24/6/2022	3	149,60	8,46	86,2680	35,63	85,50	40	96
		146,80	8,31	84,7384				
28/6/2022	7	152,80	13,20	134,6025	57,02	136,85	65	156
		157,89	13,64	139,0893				
5/7/2022	14	255,30	15,75	160,6053	68,30	163,92	90	216
		315,40	16,4	167,2334				
19/7/2022	28	275,80	18,75	191,1968	81,47	195,53	99	237,6
		286,36	19,60	199,8643				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2% en el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 24

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice. En la Figura 24 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2% de Nanosílice, se determina que declina su resistencia en comparación con el patrón de diseño, los valores obtenidos en el día 3 y día 7 presentan una menor diferencia en sus resistencia en comparación las del 14 y 28 días, alcanzando un valor máximo de $193,53 \text{ Kg/cm}^2$.

4.2.3. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

En la Tabla 62 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 62

Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ 2,5%	1	21/6/2022	15,120	15,180	15,150	29,970	180,267	11,995
	2		15,080	15,080	15,080	30,070	178,605	12,019
	1		15,100	15,290	15,195	31,400	181,339	11,988
	2		15,190	15,130	15,160	30,080	180,505	11,976
	1		15,120	15,350	15,235	29,960	182,295	12,091
	2		15,150	15,070	15,110	30,010	179,316	12,124
Revenimiento = 10 cm	1		15,090	15,210	15,150	30,170	180,267	12,106
	2		15,070	15,160	15,115	30,150	179,435	12,063

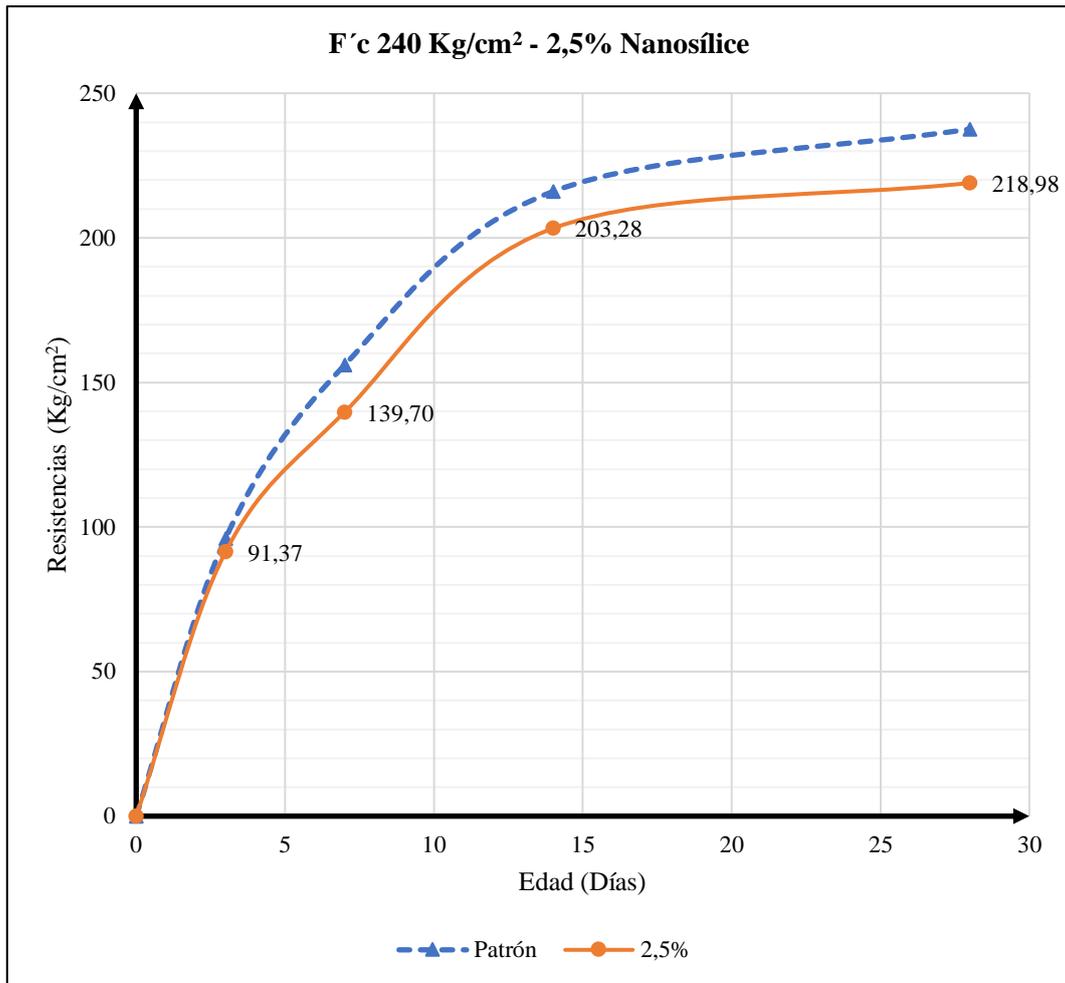
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 62.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
24/6/2022	3	138,30	7,82	79,7418	38,07	91,37	40	96
		178,70	10,1	102,9913				
28/6/2022	7	244,60	13,85	141,2307	58,21	139,70	65	156
		239,80	13,55	138,1715				
5/7/2022	14	340,00	19,24	196,1934	84,70	203,28	90	216
		364,60	20,63	210,3674				
19/7/2022	28	382,62	21,65	220,7685	91,24	218,98	99	237,6
		376,50	21,30	217,1995				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2,5% en el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 25

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2,5% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. En la Figura 25 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2,5% de Nanosílice, se determina que declina su resistencia en comparación con el patrón de diseño, los valores obtenidos en el día 3 presentan una menor diferencia en sus resistencia en comparación con las de los días 7, 14 y 28, alcanzando un valor máximo de 218,98 Kg/cm^2 .

4.2.4. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

En la Tabla 63 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 63

Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ 3%	1	22/6/2022	15,140	15,350	15,245	30,050	182,535	12,206
	2		15,030	15,000	15,015	30,040	177,069	11,951
	1		15,090	15,060	15,075	30,070	178,487	12,102
	2		15,110	15,150	15,130	30,030	179,791	12,063
	1		15,130	15,140	15,135	30,090	179,910	12,105
	2		15,080	15,050	15,065	30,010	178,250	12,056
Revenimiento = 10 cm	1		15,012	15,010	15,011	30,015	176,974	12,031
	2		15,050	15,000	15,025	30,000	177,305	12,048

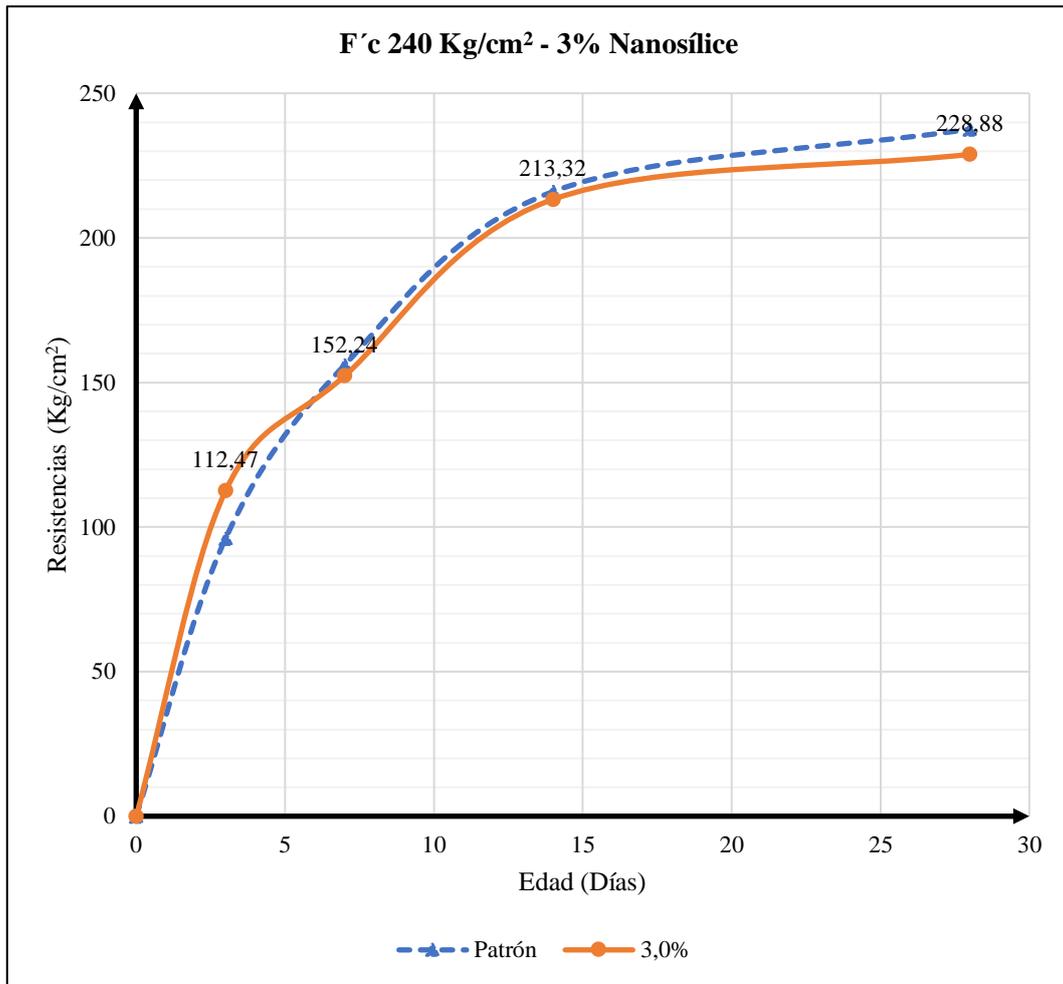
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 63.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
25/6/2022	3	200,30	11,33	115,5338	40,17	112,47	40	96
		188,60	10,73	109,4155				
29/6/2022	7	267,50	15,22	155,2008	54,37	152,24	65	156
		258,30	14,64	149,2864				
6/7/2022	14	384,40	21,75	221,7882	76,19	213,32	90	216
		355,12	20,09	204,8609				
20/7/2022	28	391,22	22,14	225,7651	95,36	228,88	99	237,6
		402,00	22,75	231,9854				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3% en el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 26

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. En la Figura 26 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 3% de Nanosílice, se determina que aumenta su resistencia en comparación con el patrón de diseño a los 3 días, y mantiene sus valores con respecto al diseño patrón en los días 7 y 14, mientras que sufre un decaimiento al día 28, alcanzando un valor máximo de $228,88 \text{ Kg/cm}^2$.

4.2.5. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

En la Tabla 64 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 64

Informe de roturas de cilindro - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ 3,5%	1	22/6/2022	15,150	15,210	15,180	30,230	180,982	11,822
	2		15,110	15,220	15,165	30,070	180,624	11,847
	1		15,170	15,000	15,085	30,040	178,723	11,742
	2		15,120	15,090	15,105	30,110	179,198	11,821
	1		15,290	15,030	15,160	30,050	180,505	12,063
	2		15,190	15,100	15,145	30,030	180,148	11,985
Revenimiento = 10 cm	1		15,030	15,000	15,015	30,012	177,069	11,878
	2		15,010	15,080	15,045	30,000	177,777	11,993

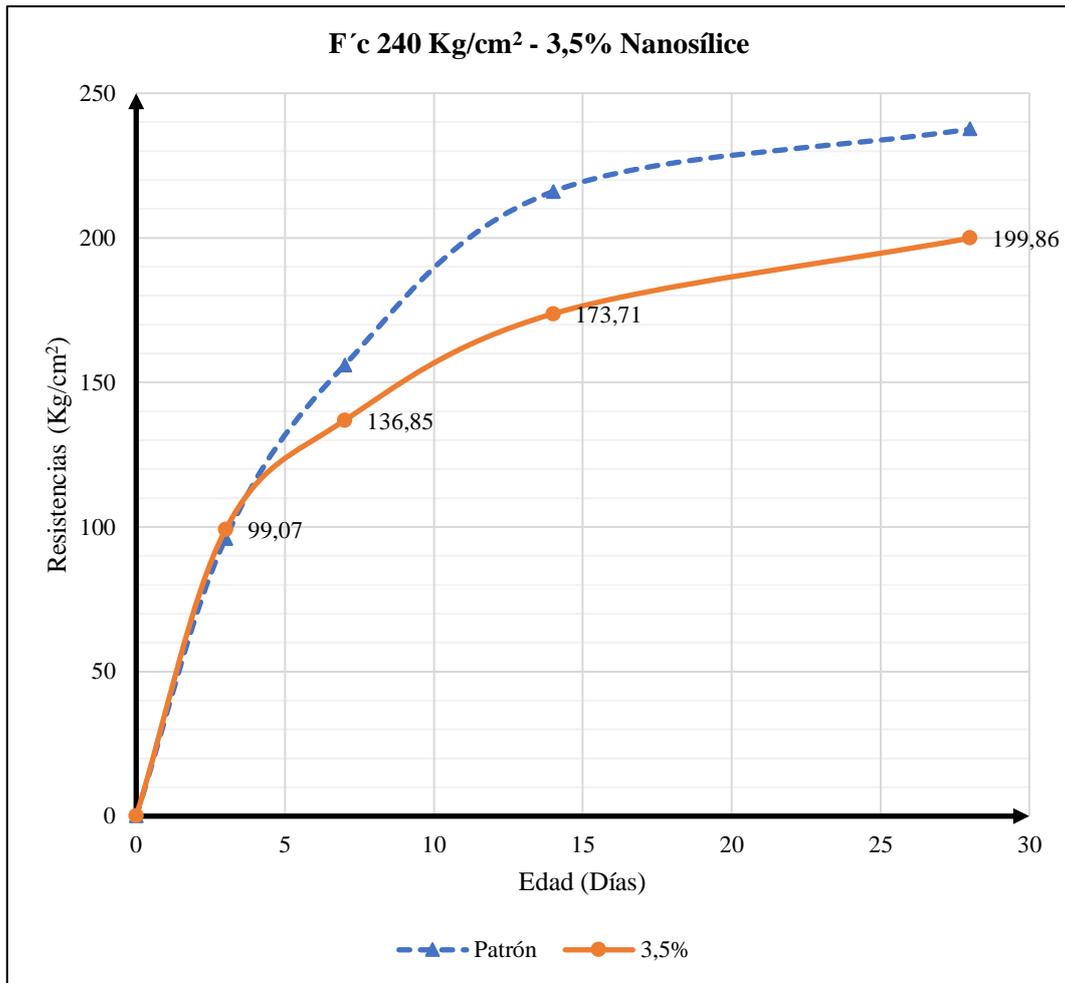
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 64.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
25/6/2022	3	164,70	9,32	95,0375	41,28	99,07	40	96
		178,50	10,11	103,0933				
29/6/2022	7	225,70	12,76	130,1158	57,02	136,85	65	156
		249,10	14,08	143,5760				
6/7/2022	14	303,50	17,17	175,0852	72,38	173,71	90	216
		298,70	16,90	172,3320				
20/7/2022	28	341,90	19,39	197,7229	83,28	199,86	99	237,6
		349,31	19,81	202,0057				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3,5% en el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 27

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3,5% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice. En la Figura 27 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 3,5% de Nanosílice, se determina que aumenta su resistencia en comparación con el patrón de diseño a los 3 días, y posteriormente declinan sus valores con respecto al diseño patrón en los días 7, 14, y 28, alcanzando un valor máximo de 199,86 Kg/cm^2 .

4.2.5. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 240$ Kg/cm² por porcentaje de Nanosílice

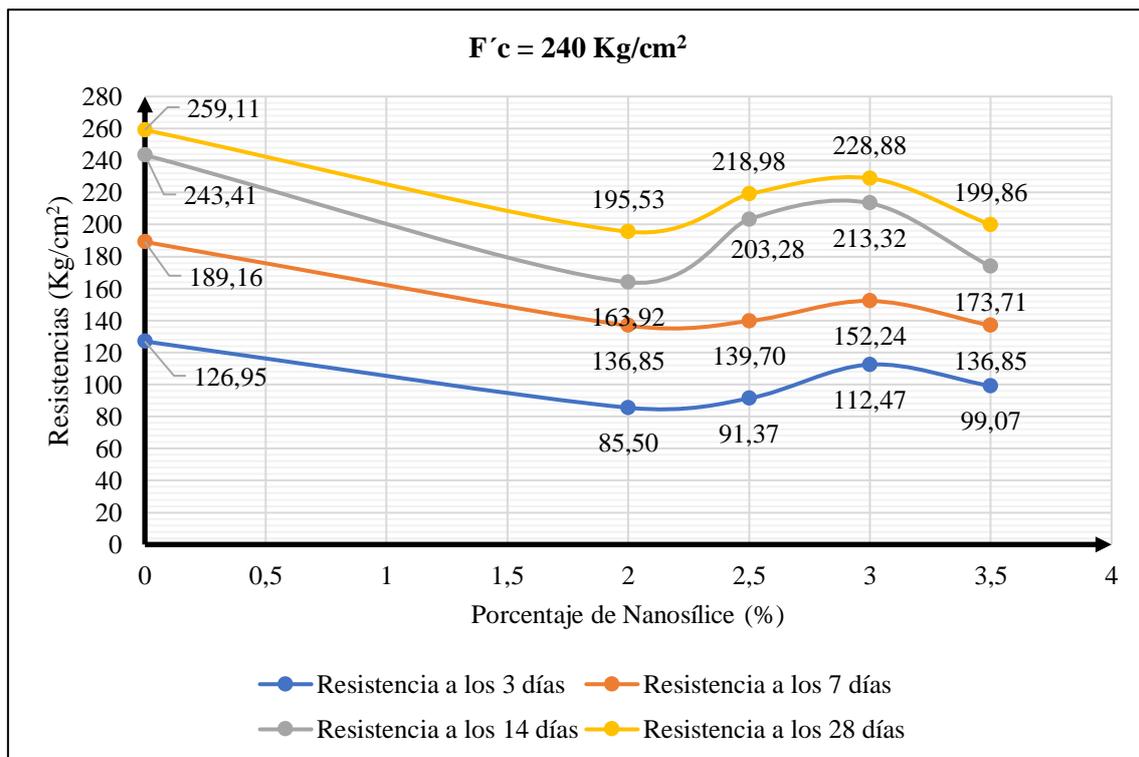
En mayoría de las dosificaciones de diseño con adición de Nanosílice experimentaron un incremento en su resistencia a los 3 días (40% de su resistencia), en comparación con la resistencia sugerida por la normativa, sin embargo, posterior a los 7, 14 y 28 días (65%, 90% y 99% respectivamente), declinaron dichos valores.

El diseño de $f'c = 240$ Kg/cm² con 3% de Nanosílice fue el hormigón que menos declinación en sus resistencias experimentó, tal y como lo muestra la Figura 25, en los 3, 7 y 14 días mantuvo valores por encima de lo normado, mientras que al día 28, dicha resistencia declino, pero ínfimamente.

La Figura 28 permite diferenciar el comportamiento del diseño con sus respectivos porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de roturas.

Figura 28

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=240$ Kg/cm² con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=240$ Kg/cm² con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.3. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN - DISEÑO F'C = 280 KG/CM²

4.3.1. Diseño patrón f'c = 280 Kg/cm²

En la Tabla 65 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de f'c = 280 Kg/cm², se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 65

Informe de roturas de cilindro - f'c=280 Kg/cm² - Patrón

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón f'c = 280 Kg/cm ²	1	19/5/2022	15,060	15,132	15,096	30,320	178,984	12,632
	2		15,050	15,080	15,065	30,260	178,250	12,570
	1		15,260	15,270	15,265	30,290	183,014	12,859
	2		15,260	15,250	15,255	30,250	182,774	12,712
	1		15,110	15,160	15,135	31,090	179,910	12,720
	2		15,110	15,190	15,150	31,050	180,267	12,700
Revenimiento = 10 cm	1		15,190	15,120	15,155	30,210	180,386	12,745
	2		15,230	15,230	15,230	30,090	182,176	12,750

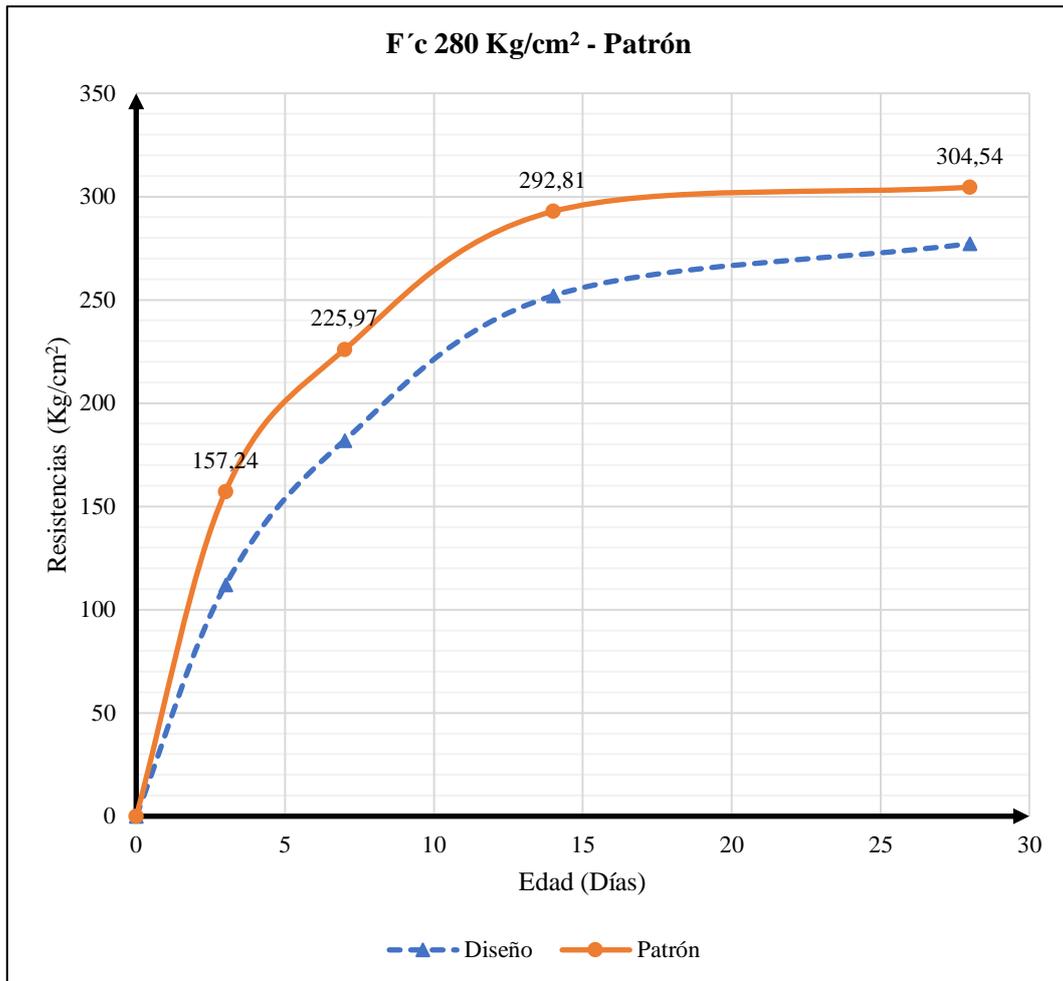
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 65.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
22/5/2022	3	274,20	15,51	158,1580	56,16	157,24	40	112
		270,90	15,33	156,3225				
26/5/2022	7	395,08	22,34	227,8046	80,70	225,97	65	182
		388,60	21,98	224,1336				
2/6/2022	14	509,10	28,81	293,7802	104,58	292,81	90	252
		505,70	28,62	291,8427				
16/6/2022	28	526,10	29,77	303,5695	108,76	304,54	99	277,2
		529,40	29,96	305,5069				

Nota: Muestra de los valores obtenidos en el diseño de hormigón de f'c=280 Kg/cm².

Figura 29

Curva de resistencia a la compresión del diseño Patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del diseño patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$. En la Figura 29 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño de hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$, en el cual se determina que en el diseño patrón propuesto existe un incremento de las resistencias en comparación con lo que indica la normativa, alcanzando una resistencia de $304,54 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.

4.3.2. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice

En la Tabla 66 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 66

Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ 2%	1	9/6/2022	15,060	15,190	15,125	30,140	179,673	12,036
	2		15,050	15,080	15,065	30,260	178,250	12,029
	1		15,220	15,130	15,175	31,160	180,862	12,020
	2		15,260	15,250	15,255	30,250	182,774	12,080
	1		15,080	15,200	15,140	12,108	180,029	12,108
	2		15,260	15,190	15,225	30,190	182,056	12,241
Revenimiento = 10 cm	1		15,210	15,190	15,200	30,140	181,459	12,296
	2		15,200	15,220	15,210	30,090	181,698	12,287

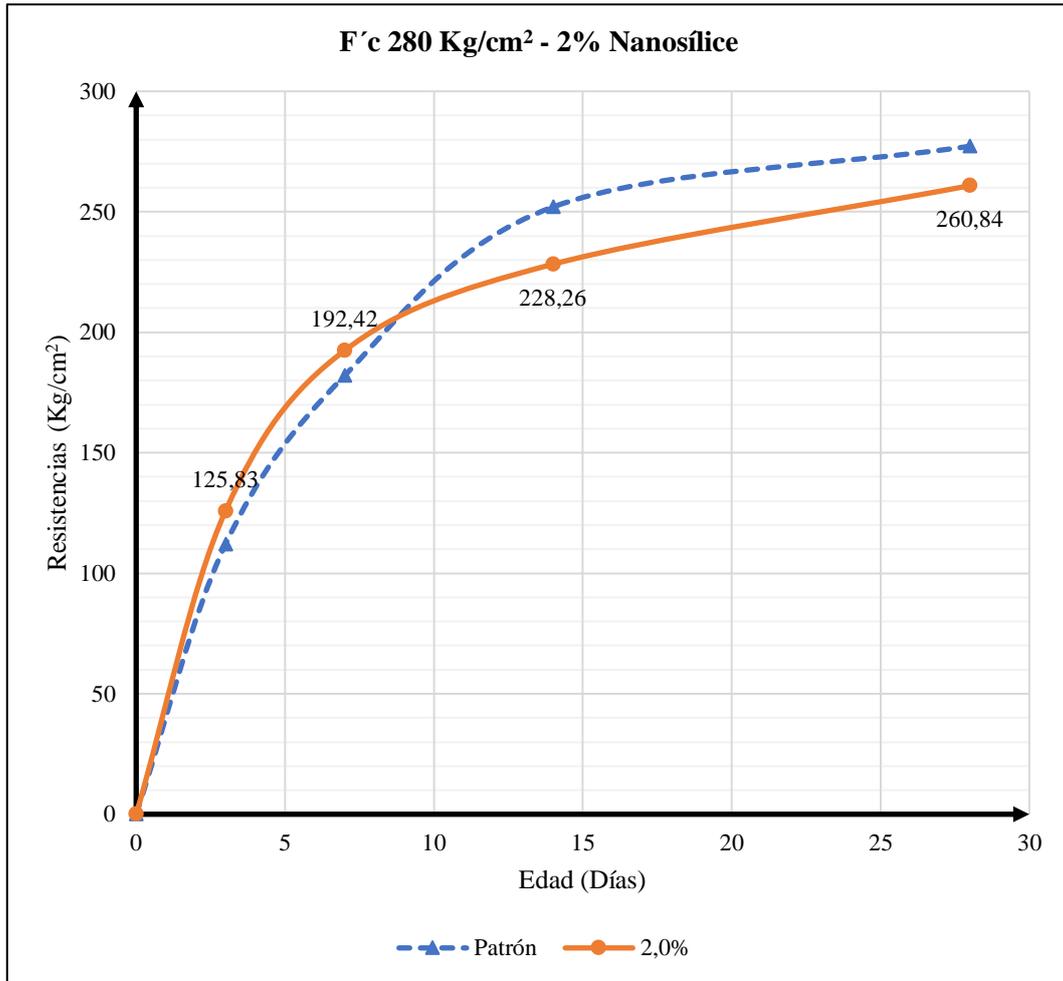
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 66.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
13/6/2022	3	228,60	12,93	131,8493	44,94	125,83	40	112
		207,68	11,75	119,8166				
16/6/2022	7	326,10	18,46	188,2396	68,72	192,42	65	182
		340,70	19,28	196,6012				
24/6/2022	14	384,40	21,76	221,8902	81,52	228,26	90	252
		406,60	23,01	234,6367				
7/7/2022	28	457,40	25,88	263,9025	93,16	260,84	99	277,2
		446,90	25,28	257,7842				

Nota: Muestra los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2% en el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 30

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2% de Nanosílice. En la Figura 30 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2% de Nanosílice, se determina que existe un aumento de resistencia en los días 3 y 7, en comparación con los posteriores días, 14 y 28, en los que disminuye su resistencia, alcanzando un valor máximo de 260,84 Kg/cm^2 .

4.3.3. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

En la Tabla 67 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 2,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 67

Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ 2,5%	1	13/6/2022	15,190	15,130	15,160	30,050	180,505	11,946
	2		15,090	15,150	15,120	30,150	179,554	11,842
	1		15,000	15,120	15,060	30,190	178,132	12,175
	2		15,120	15,210	15,165	30,170	180,624	12,000
	1		15,120	15,240	15,180	30,030	180,982	12,197
	2		15,170	15,170	15,170	31,140	180,743	12,265
Revenimiento = 10 cm	1		15,160	15,140	15,150	30,180	180,267	12,287
	2		15,180	15,150	15,165	30,150	180,624	12,219

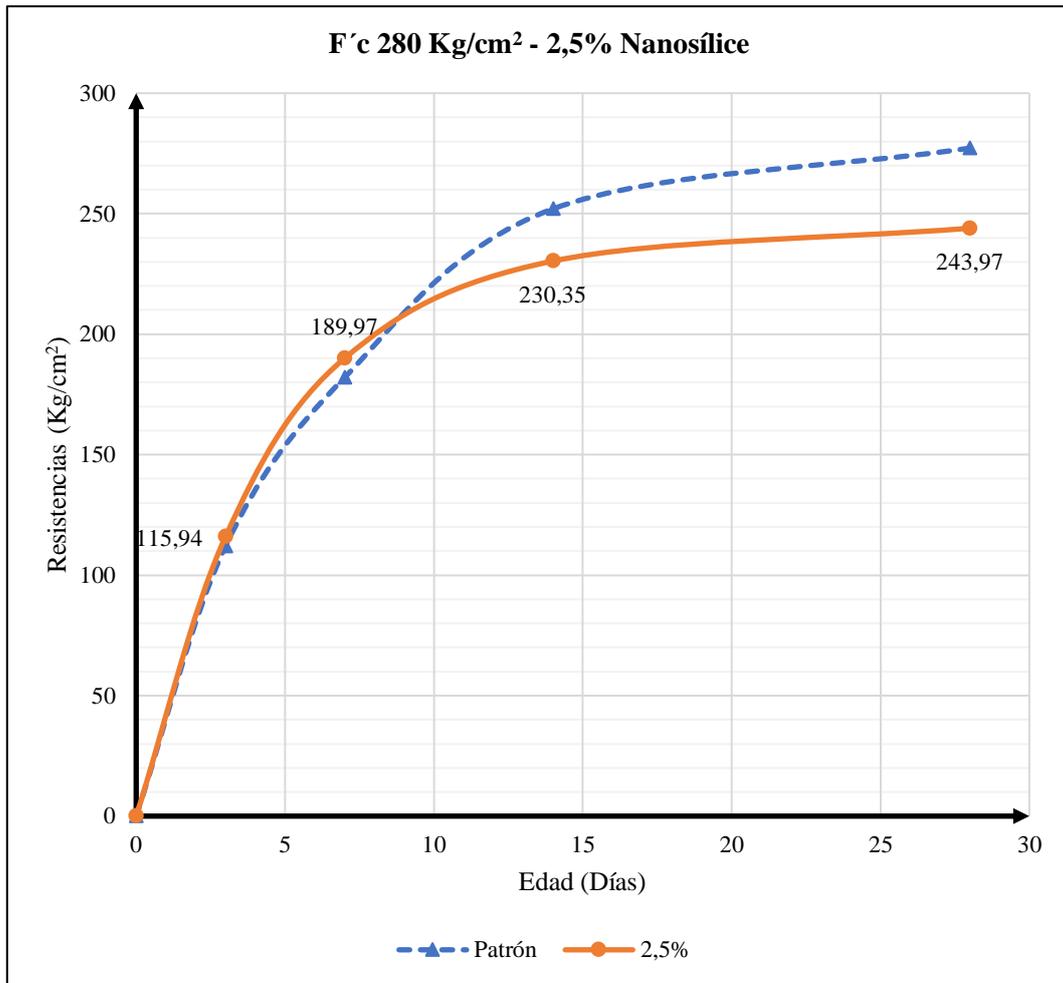
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 67.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
16/6/2022	3	197,01	11,14	113,5964	41,41	115,94	40	112
		205,20	11,6	118,2871				
20/6/2022	7	319,70	18,09	184,4666	67,85	189,97	65	182
		338,80	19,17	195,4796				
27/6/2022	14	412,30	23,32	237,7978	82,27	230,35	90	252
		386,50	21,86	222,9099				
11/7/2022	28	421,73	23,85	243,2023	87,13	243,97	99	277,2
		424,46	24	244,7318				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 2,5% en el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 31

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 2,5% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosílice. En la Figura 31 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2,0% de Nanosílice, se determina que existe un aumento de su resistencia en los días 3 y 7, en comparación con los posteriores días, 14 y 28, en los que disminuye su resistencia, alcanzando un valor máximo de $243,97 \text{ Kg/cm}^2$.

4.3.4. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

En la Tabla 68 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 68

Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ 3%	1	16/6/2022	15,050	15,050	15,050	30,160	177,895	11,812
	2		15,180	15,190	15,185	30,010	181,101	11,834
	1		15,260	15,160	15,210	30,030	181,698	12,051
	2		15,164	15,136	15,150	29,990	180,267	11,843
	1		15,150	15,170	15,160	29,950	180,505	12,031
	2		15,180	15,150	15,165	30,120	180,624	11,978
Revenimiento = 10 cm	1		15,060	15,150	15,105	30,100	179,198	11,981
	2		15,110	15,090	15,100	30,080	179,079	11,996

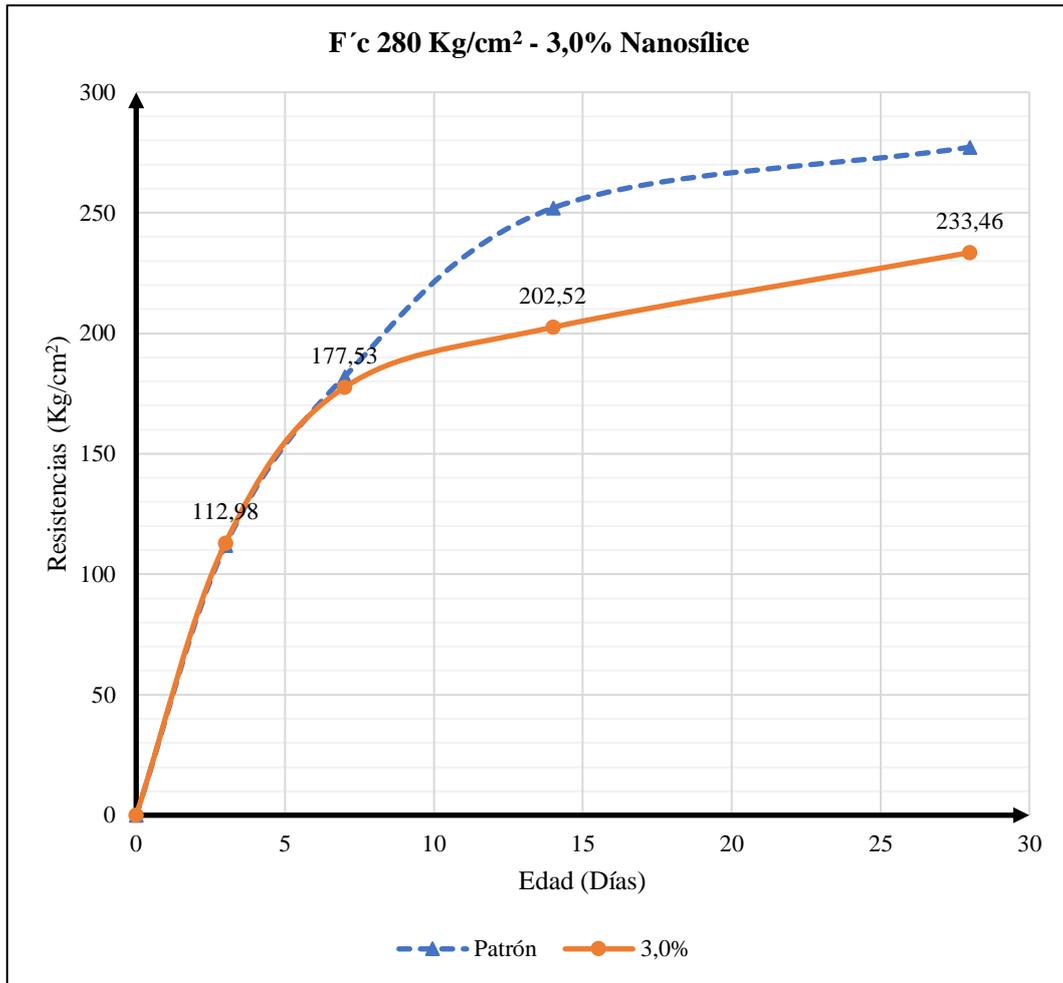
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 68.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
16/6/2022	3	189,70	10,85	110,6392	40,35	112,98	40	112
		197,90	11,31	115,3299				
20/6/2022	7	319,10	18,06	184,1607	63,40	177,53	65	182
		296,10	16,76	170,9044				
27/6/2022	14	340,50	19,27	196,4993	72,33	202,52	90	252
		361,47	20,45	208,5319				
11/7/2022	28	396,60	22,45	228,9262	83,38	233,46	99	277,2
		412,50	23,34	238,0017				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3,0% en el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$.

Figura 32

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. En la Figura 32 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2% de Nanosílice, se determina que existe un aumento ínfimo de su resistencia en los días 3 y 7, en comparación con los días 14 y 28, en los que disminuye su resistencia, alcanzando un valor máximo de $233,46 \text{ Kg/cm}^2$.

4.3.5. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

En la Tabla 69 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de un diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y con adición de Nanosílice del 3,5%; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido con la Norma NTE INEN 1573.

Tabla 69

Informe de roturas de cilindro - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice

Identificación del cilindro	N°	Fecha de vaciado	Diámetro de cilindro (cm)			Altura	Área (cm ²)	Peso (Kg)
			D1	D2	Promedio			
Patrón $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ 3,5%	1	20/6/2022	15,180	15,210	15,195	30,030	181,339	11,801
	2		15,260	15,180	15,220	30,020	181,937	11,734
	1		15,120	15,090	15,105	30,000	179,198	11,817
	2		15,100	15,060	15,080	29,850	178,605	11,730
	1		15,170	15,130	15,150	30,010	180,267	11,856
	2		15,210	15,190	15,200	30,030	181,459	11,823
Revenimiento = 10 cm	1		15,120	15,130	15,125	30,000	179,673	11,860
	2		15,090	15,100	15,095	30,020	178,960	11,781

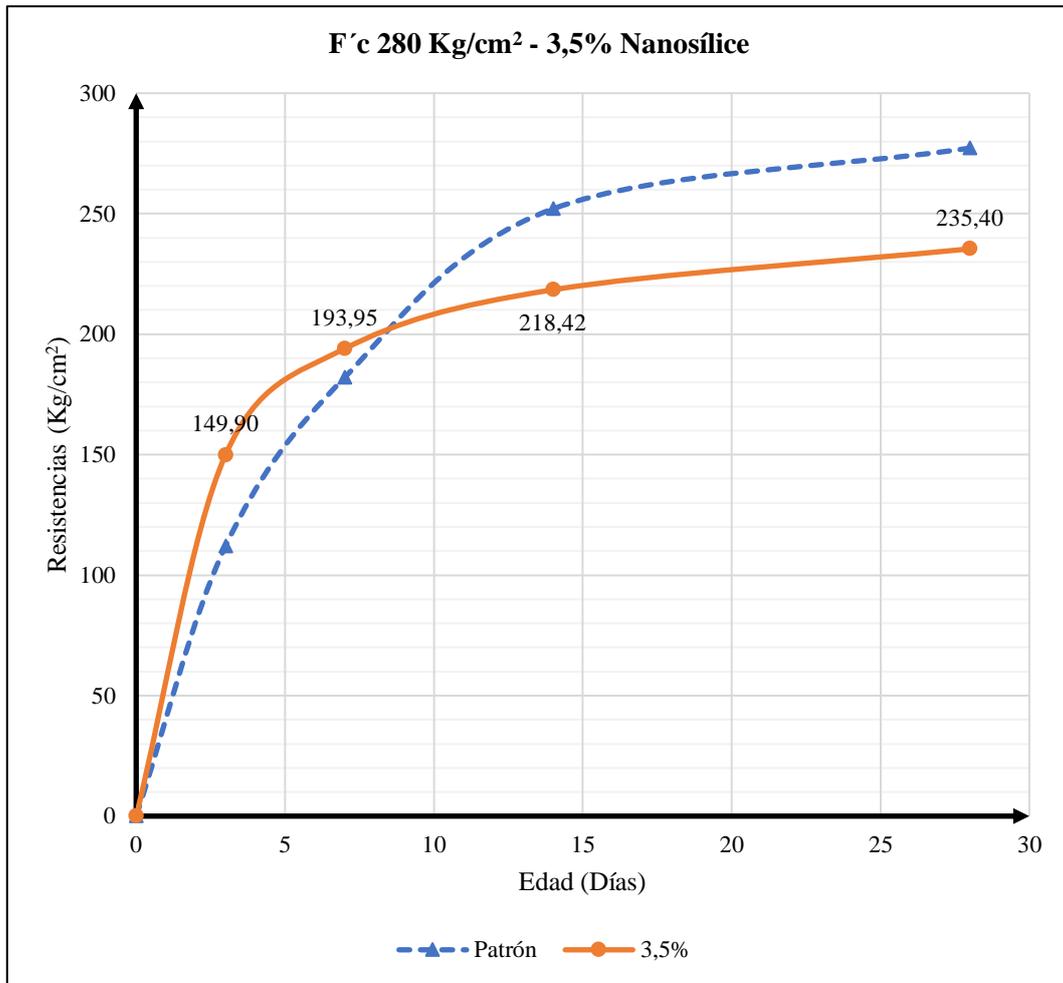
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 69.

Fecha de rotura	Edad	Carga (KN)	Resistencia (KN/cm ²)	Resistencia (Kg/cm ²)	Eficiencia		Diseñado	
					%	Promedio	%	Promedio
23/6/2022	3	247,90	14,19	144,6977	53,54	149,90	40	112
		269,20	15,21	155,0988				
27/6/2022	7	330,60	18,70	190,6869	69,27	193,95	65	182
		341,90	19,34	197,2131				
4/7/2022	14	382,60	21,60	220,2587	78,01	218,42	90	252
		375,50	21,24	216,5877				
18/7/2022	28	411,60	23,27	237,2879	84,07	235,40	99	277,2
		405,20	22,90	233,5150				

Nota: Muestra de los valores obtenidos con la implementación de Nanosílice al 3,5% en el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 33

Curva de resistencia a la compresión del diseño $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosílice



Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con la adición de 3,5% Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

a) Análisis del comportamiento a compresión del $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílice. En la Figura 33 se proyecta la curva de control señalando las resistencias que deben alcanzar a los 3, 7, 14 y 28 días en que se ejecuta la ruptura, comparándose con la curva del diseño del hormigón de este proyecto que se realizó con una resistencia de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ y la adición del 2% de Nanosílice, se determina que existe un aumento ínfimo de su resistencia en los días 3 y 7, en comparación con los días 14 y 28, en los que disminuye su resistencia, alcanzando un valor máximo de $235,40 \text{ Kg/cm}^2$.

4.3.6. Análisis del comportamiento a compresión del diseño $f'c = 240$ kg/cm^2 por porcentaje de Nanosílice

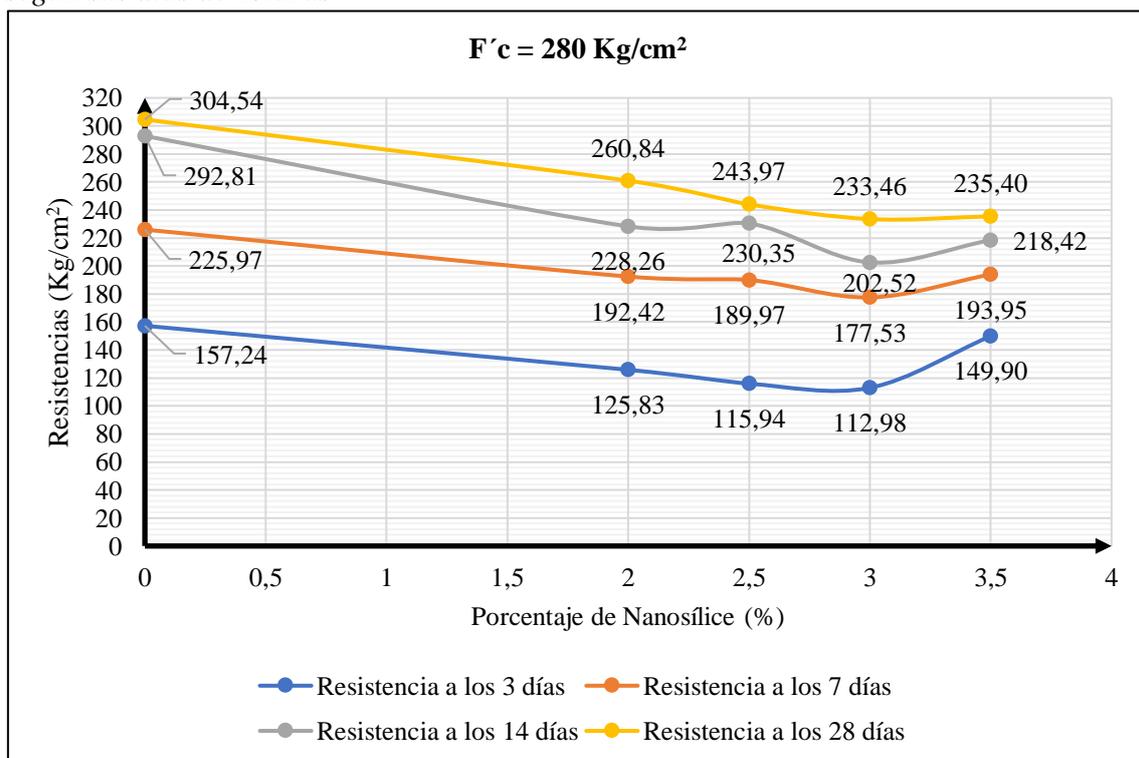
En mayoría de las dosificaciones de diseño con adición de Nanosílice experimentaron un incremento en su resistencia a los 3 días y 7 días, en comparación con la resistencia sugerida por la normativa, sin embargo, posterior a los 14 y 28 días, declinaron dichos valores.

El diseño de $f'c = 280$ Kg/cm^2 con 2% de Nanosílice fue el hormigón que menos declinación en sus resistencias experimentó, tal y como lo muestra la Figura 29, en los 3, y 7 días mantuvo valores por encima de lo normado, mientras que al día 14 y 28, dicha resistencia declino, pero ínfimamente.

La Figura 34 permite diferenciar el comportamiento del diseño con sus respectivos porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de roturas

Figura 34

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=280$ Kg/cm^2 con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento compresión del diseño de hormigón de $f'c=280$ Kg/cm^2 con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4. RESULTADOS DE ENSAYOS A FLEXIÓN

La resistencia a la flexión del concreto es una medida que está dada por una falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Las dimensiones de las vigas son de (15mm x 15 mm) de sección transversal y la luz de cómo mínimo tres veces el espesor. La resistencia a flexión se expresa en libras por pulgada cuadrada (MPa) y se basa por los ensayos INEN 2554 señalando que la mitad de las cargas se aplican en los puntos tercio. El módulo de rotura tiene un valor significativo entre el 10% al 20% del valor de la resistencia a compresión.

4.4.1. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

En la Tabla 70 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ convencional y con adición de Nanosílice en sus porcentajes correspondientes; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido por la Norma NTE INEN 2554.

Tabla 70

Informe de roturas de vigas - $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice

Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	N°	Dimensiones			Distancia entre apoyos (cm)
				Base (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	
6/6/2022	F'c 210 - Patrón	7	1	15,11	15,15	51	45
		28	2	15,09	15,05	52	45
		28	3	15,15	15,10	51	45
23/6/2022	F'c 210 - 2% Nanosílice	7	1	15,12	15,09	51	45
		28	2	15,16	15,15	52	45
		28	3	15,20	15,12	51	45
23/6/2022	F'c 210 - 2,5% Nanosílice	7	1	15,18	15,19	52	45
		28	2	15,10	15,22	51	45
		28	3	15,12	15,11	51	45
24/6/2022	F'c 210 - 3% Nanosílice	7	1	15,19	15,18	51	45
		28	2	15,14	15,20	51	45
		28	3	15,15	15,17	52	45
24/6/2022	F'c 210 - 3,5% Nanosílice	7	1	15,21	15,15	51	45
		28	2	15,17	15,11	52	45
		28	3	15,13	15,15	51	45

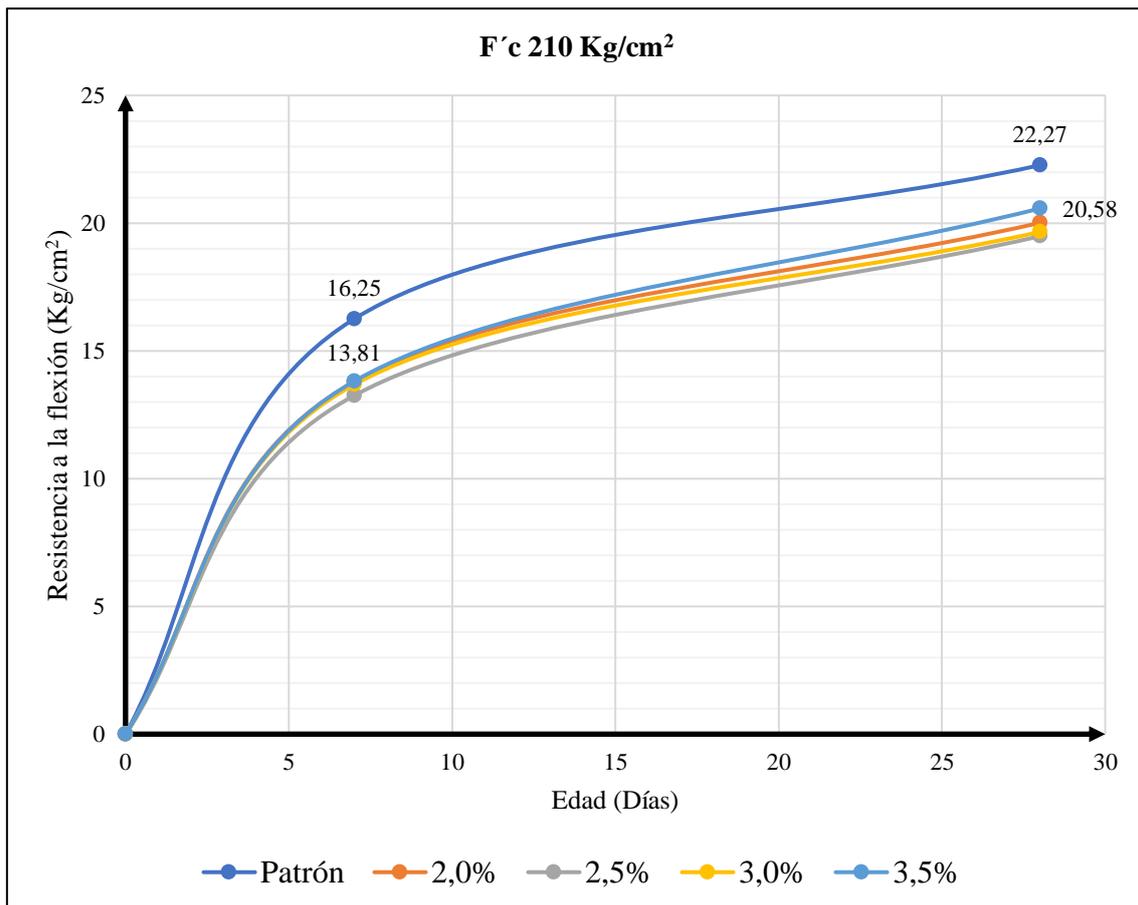
Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 70.

Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio	Sección de falla
6/6/2022	F'c 210 - Patrón	7	12,51	1275,90	16,25	16,25	Tercio medio
		28	17,24	1757,99	22,39	22,27	
		28	17,06	1739,15	22,15		
23/6/2022	F'c 210 - 2% Nanosílice	7	10,62	1082,75	13,79	13,79	Tercio medio
		28	15,28	1557,77	19,84	20,02	
		28	15,55	1585,25	20,19		
23/6/2022	F'c 210 - 2,5% Nanosílice	7	10,20	1040,35	13,25	13,25	Tercio medio
		28	15,06	1535,79	19,56	19,49	
		28	14,95	1524,80	19,42		
24/6/2022	F'c 210 - 3% Nanosílice	7	10,53	1074,11	13,68	13,68	Tercio medio
		28	15,04	1533,43	19,53	19,66	
		28	15,23	1553,06	19,78		
24/6/2022	F'c 210 - 3,5% Nanosílice	7	10,63	1084,32	13,81	13,81	Tercio medio
		28	15,95	1626,08	20,71	20,58	
		28	15,74	1604,88	20,44		

Nota: Muestra los valores obtenidos en las roturas de vigas sometidas a flexión, tanto de la mezcla de hormigón convencional como con los porcentajes de Nanosílice diseño de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 35

Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$



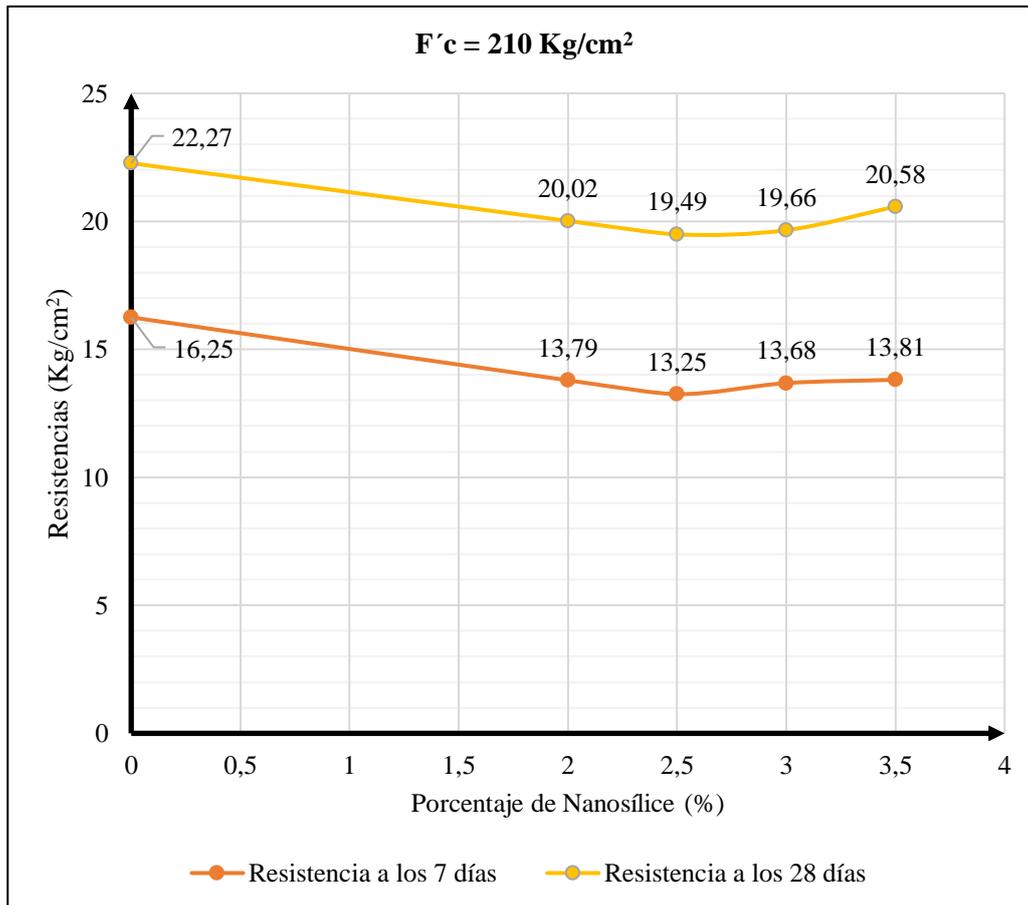
Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con diferentes adiciones Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4.2. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ por porcentaje de Nanosílice

De acuerdo con la figura 35, en el módulo de rotura del diseño patrón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, representado por la línea azul, alcanza un valor máximo de $22,27 \text{ Kg/cm}^2$, superando el 10% del diseño de resistencia a compresión, mientras que de los diseños de hormigón con adición de Nanosílice el de porcentaje del 3,5% que alcanzo una mayor resistencia tanto a los 7 como a los 28 días, alcanzando un valor máximo del $20,58 \text{ Kg/cm}^2$, pero no más representativo que el diseño patrón.

Figura 36

Comportamiento a flexión del diseño $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a flexión del diseño de hormigón de $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4.3. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$

En la Tabla 71 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ convencional y con adición de Nanosílice en sus porcentajes correspondientes; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido por la Norma NTE INEN 2554.

Tabla 71

Informe de roturas de vigas - $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice

Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	N°	Dimensiones			Distancia entre apoyos (cm)
				Base (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	
2/6/2022	F'c 240 - Patrón	7	1	15,10	15,07	52	45
		28	2	15,12	15,15	51	45
		28	3	15,09	15,17	51	45
21/6/2022	F'c 240 - 2% Nanosílice	7	1	15,11	15,19	51	45
		28	2	15,07	15,15	52	45
		28	3	15,10	15,18	51	45
21/6/2022	F'c 240 - 2,5% Nanosílice	7	1	15,05	15,14	52	45
		28	2	15,08	15,15	51	45
		28	3	15,10	15,14	52	45
22/6/2022	F'c 240 - 3% Nanosílice	7	1	15,21	15,08	51	45
		28	2	15,11	15,20	51	45
		28	3	15,15	15,10	51	45
22/6/2022	F'c 240 - 3,5% Nanosílice	7	1	15,05	15,00	52	45
		28	2	15,11	15,15	51	45
		28	3	15,07	15,15	52	45

Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 71.

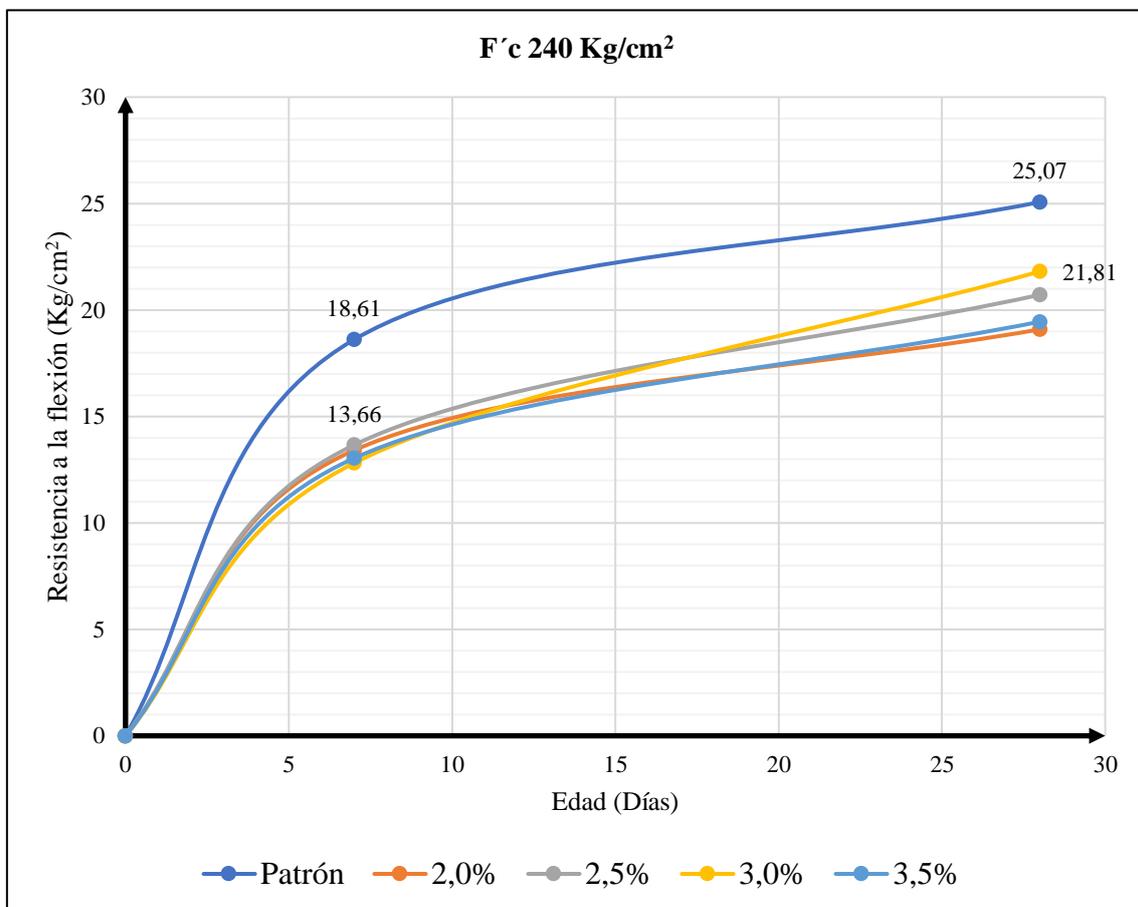
Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio	Sección de falla
2/6/2022	F'c 240 - Patrón	7	14,33	1461,20	18,61	18,61	Tercio medio
		28	19,49	1987,26	25,31	25,07	medio

		28	19,12	1949,57	24,83		
21/6/2022	F'c 240 -	7	10,33	1052,91	13,41	13,41	
	2%	28	14,42	1470,62	18,73	19,09	Tercio medio
	Nanosílice	28	14,98	1527,15	19,45		
21/6/2022	F'c 240 -	7	10,52	1072,54	13,66	13,66	
	2,5%	28	15,61	1591,54	20,27	20,72	Tercio medio
	Nanosílice	28	16,29	1661,42	21,16		
22/6/2022	F'c 240 -	7	9,86	1005,80	12,81	12,81	
	3%	28	16,59	1691,25	21,54	21,81	Tercio medio
	Nanosílice	28	17,00	1733,65	22,08		
22/6/2022	F'c 240 -	7	10,04	1023,86	13,04	13,04	
	3,5%	28	14,84	1513,02	19,27	19,45	Tercio medio
	Nanosílice	28	15,12	1541,29	19,63		

Nota: Muestra los valores obtenidos en las roturas de vigas sometidas a flexión, tanto de la mezcla de hormigón convencional como con los porcentajes de Nanosílice diseño de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 37

Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$



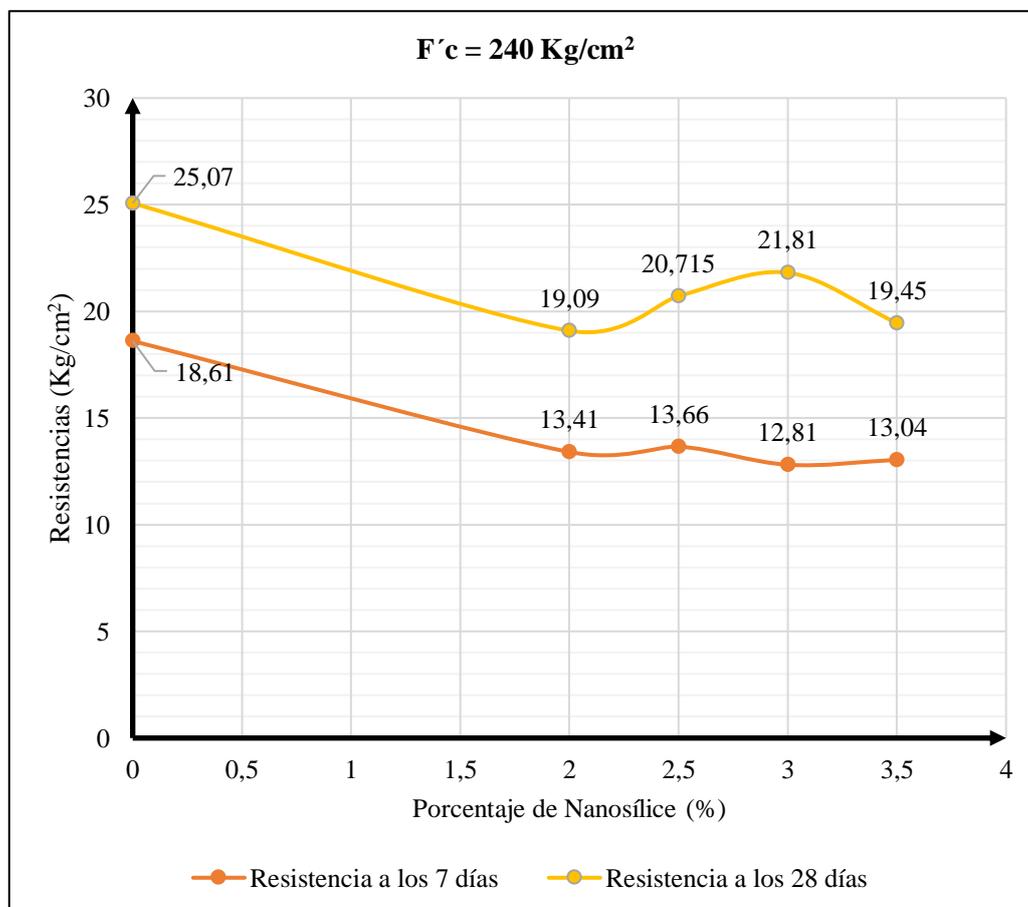
Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con diferentes adiciones Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4.4. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 240$ Kg/cm² por porcentaje de Nanosílice

De acuerdo con la figura 36, en el módulo de rotura del diseño patrón de $f'c=240$ Kg/cm², representado por la línea azul, alcanza un valor máximo de 25,07 Kg/cm², superando el 10% de diseño de resistencia a compresión, mientras que de los diseños de hormigón con adición de Nanosílice, el de porcentaje del 2,5% a los 7 días obtuvo un valor de 13,66 Kg/cm² siendo el valor más alto que el de los demás porcentajes, así mismo, de adición del 3% que alcanzo una mayor resistencia tanto a los 28 días, alcanzando un valor máximo del 21,81 Kg/cm², pero no más representativo que el diseño patrón.

Figura 38

Comportamiento a flexión del diseño $f'c=240$ Kg/cm² con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a flexión del diseño de hormigón de $f'c=240$ Kg/cm² con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4.5. Diseño $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

En la Tabla 72 se observan los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ convencional y con adición de Nanosílice en sus porcentajes correspondientes; se muestran las cargas detalladas de cada una de las roturas, su diseño y eficiencia promedio de acuerdo con la establecido por la Norma NTE INEN 2554.

Tabla 72

Informe de roturas de vigas - $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con los diferentes porcentajes de Nanosílice

Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	N°	Dimensiones			Distancia entre apoyos (cm)
				Base (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	
19/5/2022	F'c 280 - Patrón	7	1	15,21	15,17	52	45
		28	2	15,13	15,19	51	45
		28	3	15,10	15,17	52	45
9/6/2022	F'c 280 - 2% Nanosílice	7	1	15,09	15,12	51	45
		28	2	15,12	15,15	51	45
		28	3	15,18	15,20	52	45
13/6/2022	F'c 280 - 2,5% Nanosílice	7	1	15,12	15,19	52	45
		28	2	15,06	15,05	51	45
		28	3	15,10	15,04	51	45
16/6/2022	F'c 280 - 3% Nanosílice	7	1	15,06	15,10	51	45
		28	2	15,11	15,10	51	45
		28	3	15,06	15,10	51	45
20/6/2022	F'c 280 - 3,5% Nanosílice	7	1	15,12	15,20	52	45
		28	2	15,15	15,10	51	45
		28	3	15,08	15,11	51	45

Lectura de cargas y resistencias, continuación de la Tabla 72.

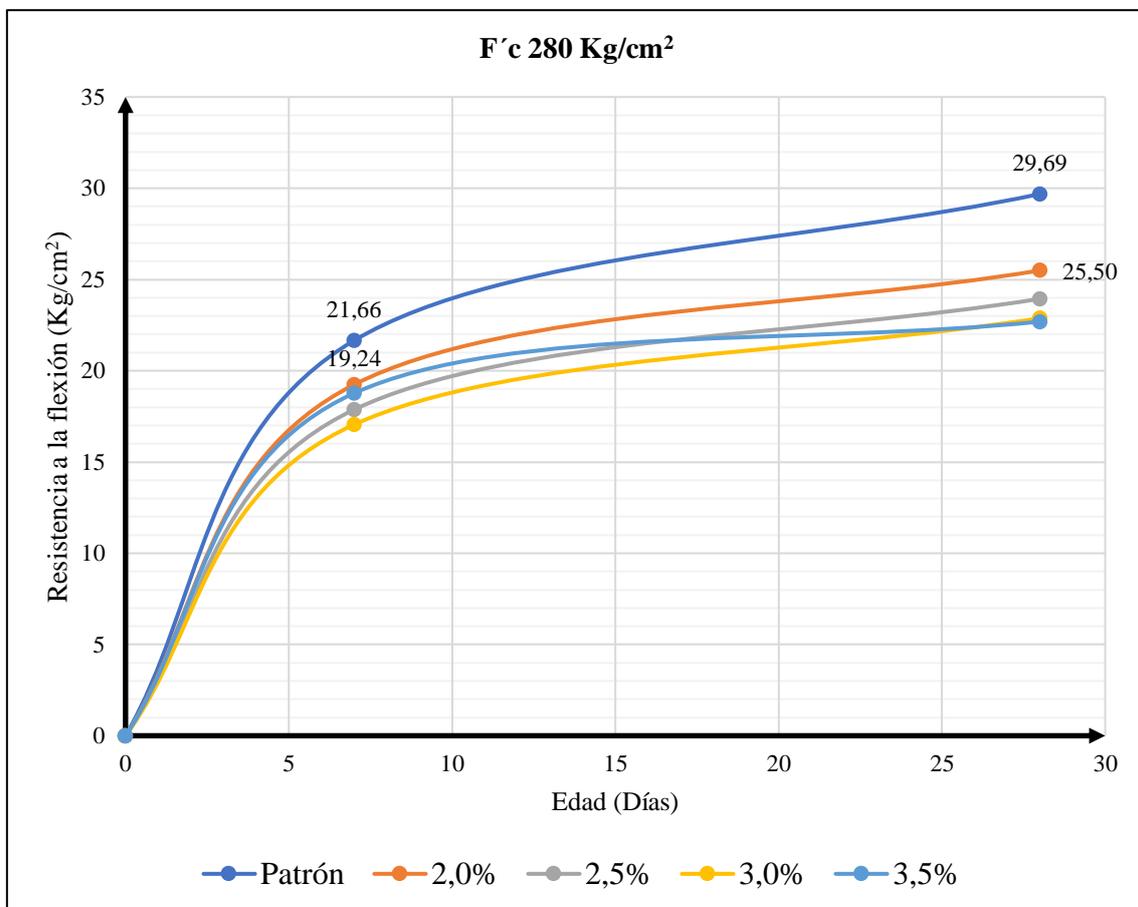
Fecha de vaciado	Dosificación	Edad (Días)	Carga P (KN)	Carga P (Kg)	Resistencia (Kg/cm ²)	Promedio	Sección de falla
19/5/2022	F'c 280 - Patrón	7	12,51	1275,90	21,66	21,66	Tercio medio
		28	17,24	1757,99	29,22	29,69	
		28	17,09	1742,29	30,16		
9/6/2022	F'c 280 - 2% Nanosílice	7	10,50	1070,97	19,24	19,24	Tercio medio
		28	14,89	1518,52	25,16	25,50	
		28	15,50	1580,54	25,84		

13/6/2022	F'c 280 -	7	10,36	1056,05	17,87	17,87	Tercio medio
	2,5%	28	15,52	1582,11	23,78	23,95	
16/6/2022	F'c 280 -	7	10,37	1057,62	17,05	17,05	Tercio medio
	3%	28	15,30	1560,13	22,64	22,88	
20/6/2022	F'c 280 -	7	10,63	1084,32	18,77	18,77	Tercio medio
	3,5%	28	15,36	1566,41	22,52	22,70	
	Nanosílice	28	15,61	1591,54	22,87		

Nota: Muestra los valores obtenidos en las roturas de vigas sometidas a flexión, tanto de la mezcla de hormigón convencional como con los porcentajes de Nanosílice diseño de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 39

Curvatura de la resistencia a la flexión de un diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$



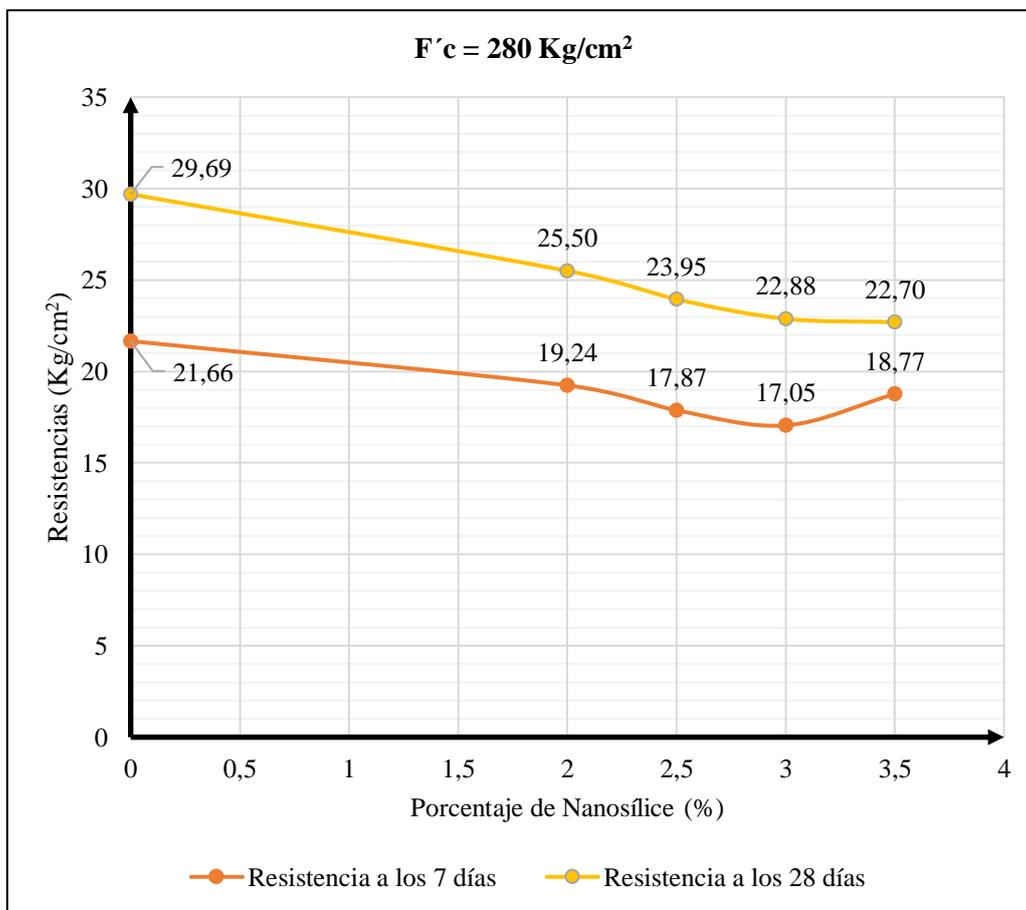
Nota: Curva representativa del comportamiento del diseño patrón y el diseño de hormigón de $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con diferentes adiciones Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.4.6. Análisis del comportamiento a flexión del diseño $f'c = 280$ Kg/cm² por porcentaje de Nanosílice

De acuerdo con la figura 37, en el módulo de rotura del diseño patrón de $f'c=280$ kg/cm², representado por la línea azul, alcanza un valor máximo de 29,69 Kg/cm², superando el 10% de diseño de resistencia a compresión, mientras que de los diseños de hormigón con adición de Nanosílice el de porcentaje del 2,0% que alcanzo una mayor resistencia tanto a los 7 como a los 28 días, alcanzando un valor máximo del 25,50 kg/cm², pero no más representativo que el diseño patrón.

Figura 40

Comportamiento a flexión del diseño $f'c=280$ Kg/cm² con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a flexión del diseño de hormigón de $f'c=280$ Kg/cm² con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS DOSIFICACIONES CON ESTUDIOS ANTERIORES

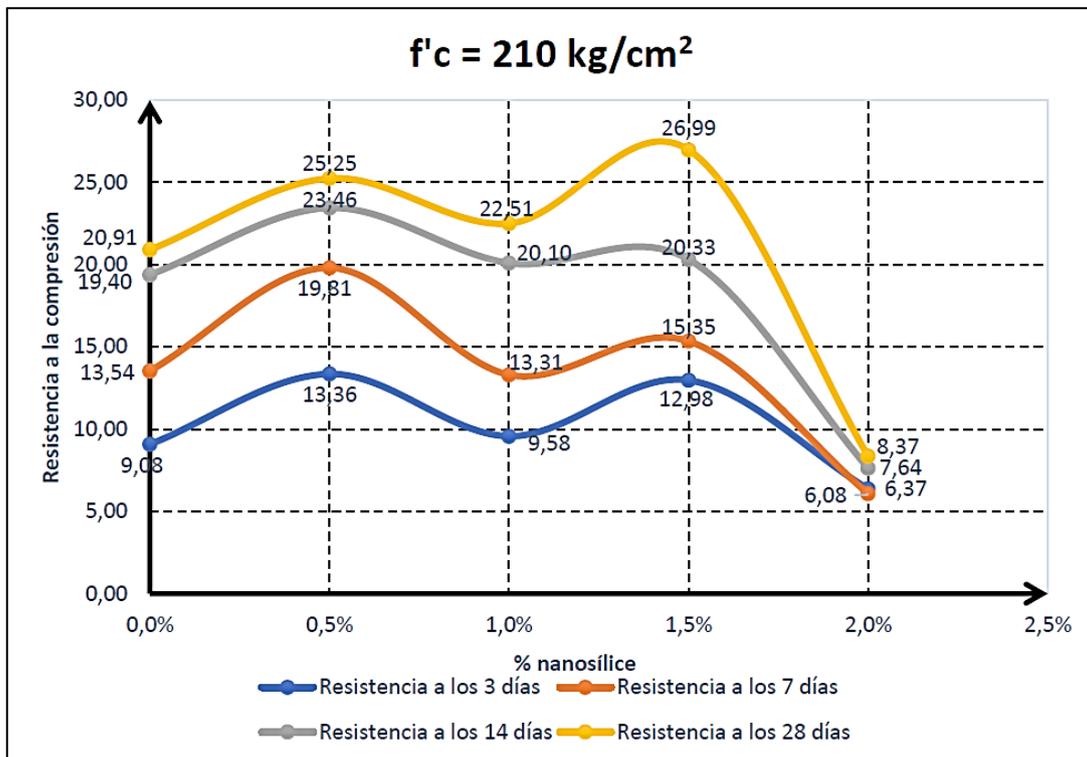
Los resultados obtenidos en el presente caso de estudio permiten interpretar de una forma técnica el comportamiento del Nanosílice en una mezcla de hormigón; con base en lo anteriormente desarrollado en investigaciones anteriores, aunque no se haya estipulado un análisis comparativo, se toma en consideración los resultados obtenidos por Basurto G. y González V., para así poder determinar un análisis general.

4.5.1. Diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ (21 MPa)

En la Figura 41 se puede observar el comportamiento a compresión de diseño hormigón de $f'c=21 \text{ MPa}$ siendo evidente una respuesta favorable en las dosificaciones con adición de Nanosílice al 0,5%, 1,0% y 2,0% alcanzando unas resistencias por encima del rango del hormigón convencional, sin embargo, declina su resistencia en la dosificación al 2%, obteniéndose unos resultados por debajo del diseño.

Figura 41

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=21 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



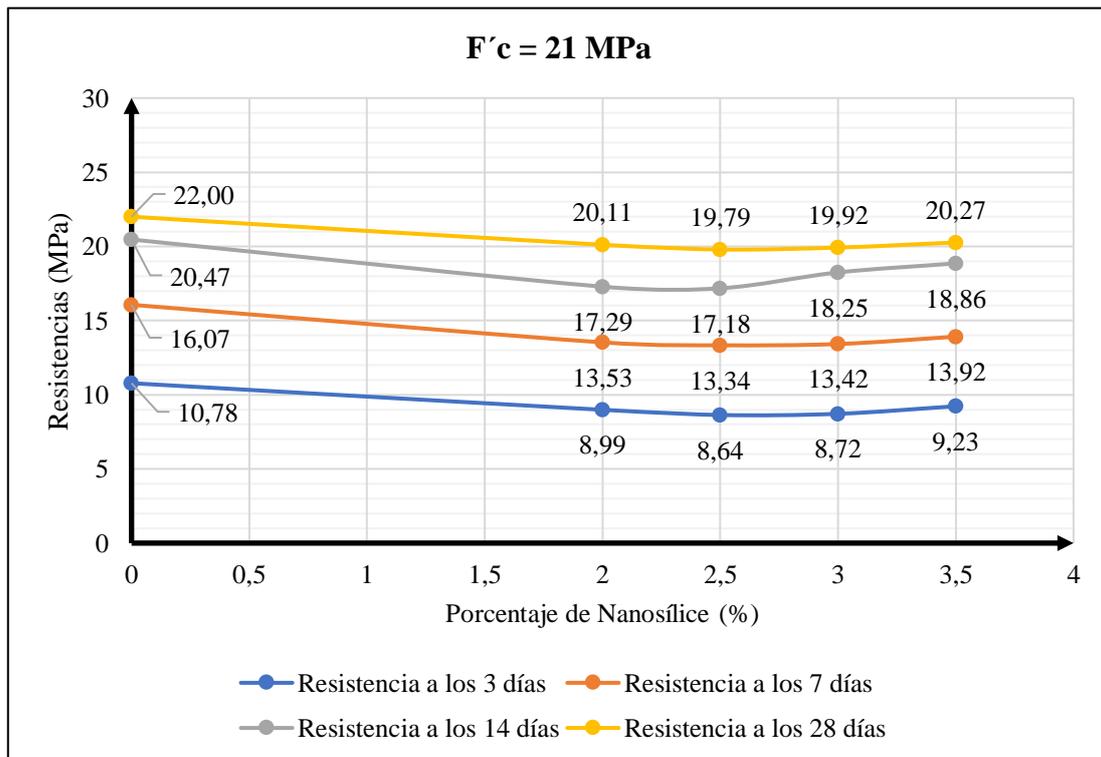
Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=21$ MPa con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura. (Basurto Basurto y González Alfonso, 2021, p. 73)

En la Figura 42 se evidencia el comportamiento del diseño de hormigón de $f'c=21$ MPa con adición de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3% y 3,5%, sometido a compresión según sus días de roturas; su declinación en la resistencia no está por debajo del diseño a los 3 y 7 días, a diferencia de los 14 y 28 días, donde es notorio no alcanza sus valores de diseño.

El diseño de $f'c = 21$ MPa con 3,5% de Nanosílice evidencia una menor declinación en sus resistencias a los 3, 7 y 14 días, manteniendo valores por encima de lo normado (40%, 65% y 90% de su resistencia), mientras que al día 28 (99%), dicha resistencia declino, pero ínfimamente en comparación con el diseño convencional.

Figura 42

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=21$ MPa con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



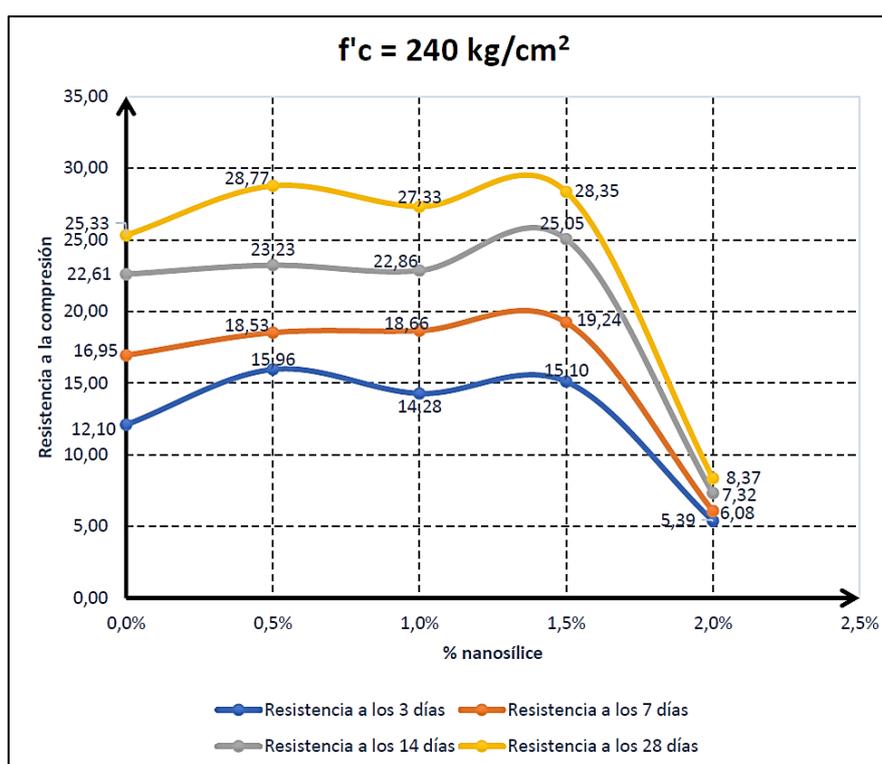
Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=21$ MPa con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.5.2. Diseño $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ (24 MPa)

En la Figura 43 se puede observar el comportamiento a compresión de diseño hormigón de $f'c=24 \text{ MPa}$ siendo evidente una respuesta favorable en las dosificaciones con adición de Nanosílice al 0,5%, 1,0% y 2,0% alcanzando unas resistencias por encima del rango del hormigón convencional, sin embargo, declina su resistencia en la dosificación al 2%, obteniéndose unos resultados por debajo del diseño.

Figura 43

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=24 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



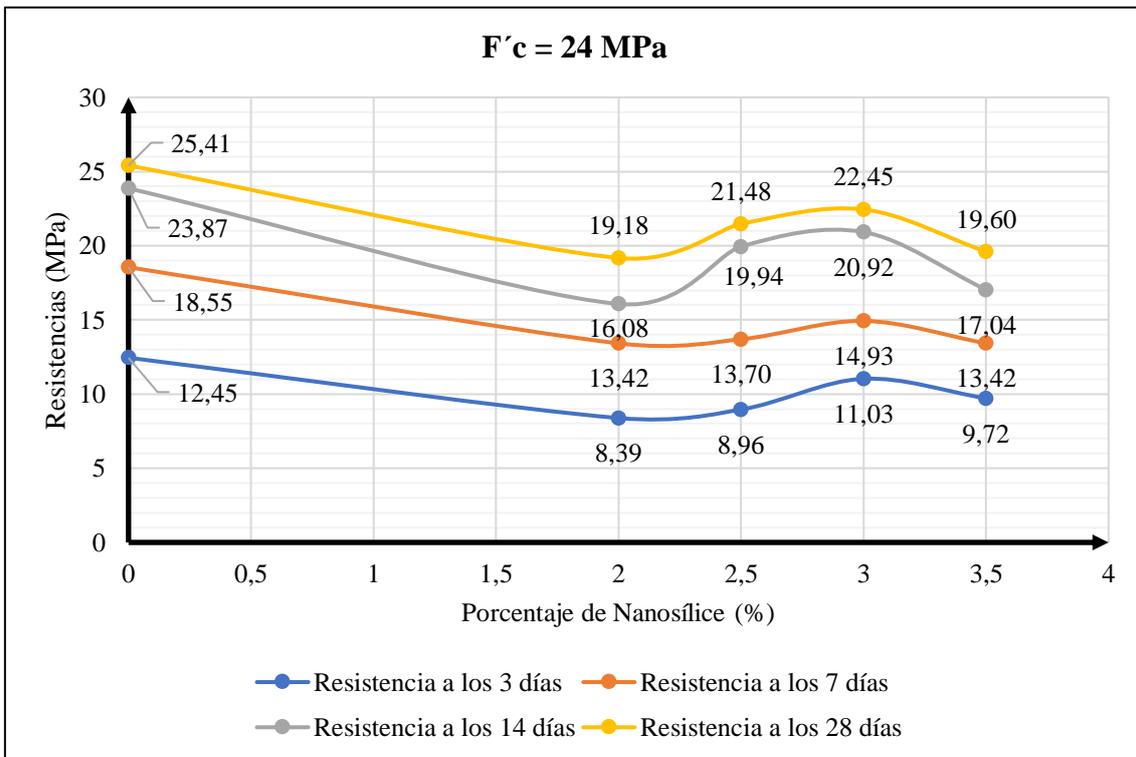
Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=24 \text{ MPa}$ con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura. (Basurto Basurto y González Alfonso, 2021, p. 82)

En la Figura 44 se evidencia el comportamiento del diseño de hormigón de $f'c=24 \text{ MPa}$ con adición de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3% y 3,5%, sometido a compresión según sus días de roturas; su declinación en la resistencia no está por debajo del diseño a los 3 y 7 días, sin embargo, este argumento cambia a partir de los 14 y 28 días, donde es notorio que su resistencia no alcanza sus valores de diseño.

El diseño de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosílce representa una menor declinación en sus resistencias, en los 3, 7 y 14 días mantuvo valores por encima del diseño, mientras que al día 28, dicha resistencia declino, pero ínfimamente en comparación el diseño convencional.

Figura 44

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=24 \text{ MPa}$ con porcentaje de Nanosílce según sus días de roturas



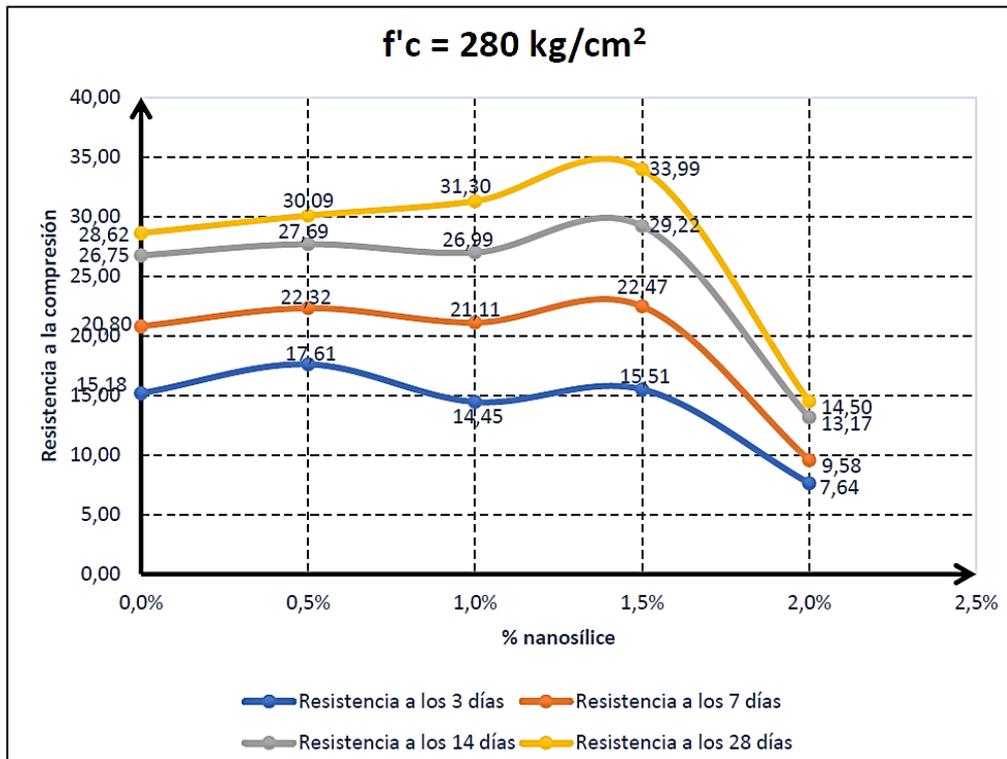
Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=24 \text{ MPa}$ con diferentes porcentajes de Nanosílce de acuerdo con los días de ruptura.

4.5.3. Diseño $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$ (28 MPa)

En la Figura 43 se puede observar el comportamiento a compresión de diseño hormigón de $f'c=28 \text{ MPa}$ siendo evidente una respuesta favorable en las dosificaciones con adición de Nanosílce al 0,5%, 1,0% y 2,0% alcanzando unas resistencias por encima del rango del hormigón convencional, sin embargo, declina su resistencia en la dosificación al 2%, obteniéndose unos resultados por debajo del diseño.

Figura 45

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=28$ MPa con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



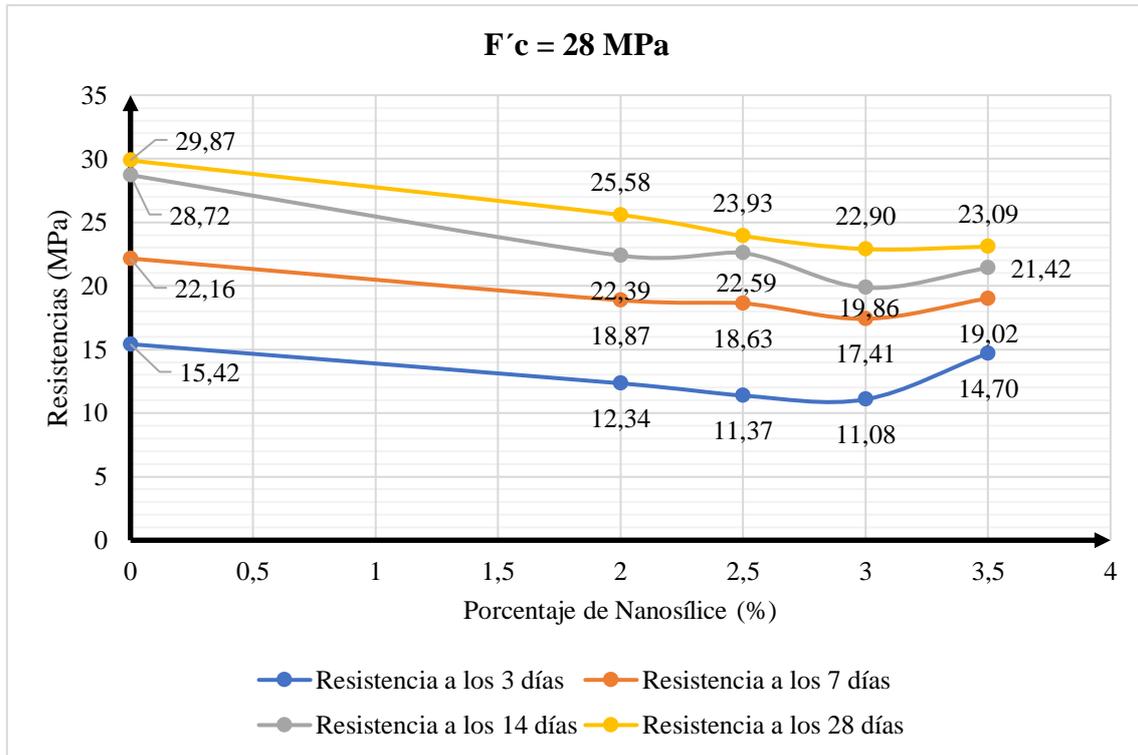
Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=24$ MPa con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura. (Basurto Basurto y González Alfonzo, 2021, p. 91)

En la Figura 46 se evidencia el comportamiento del diseño de hormigón de $f'c=28$ MPa con adición de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3% y 3,5%, sometido a compresión según sus días de roturas; su declinación en la resistencia no está por debajo del diseño a los 3 y 7 días, sin embargo, este argumento cambia a partir de los 14 y 28 días, donde es notorio que su resistencia no alcanza sus valores de diseño.

El diseño de $f'c = 28$ MPa con 2% de Nanosílice representa menor declinación en sus resistencias, en los 3 y 7 días mantuvo valores por encima de lo normado, mientras que al día 14 y 28, dicha resistencia declino minoritariamente en comparación con el diseño convencional.

Figura 46

Comportamiento a compresión del diseño $f'c=28$ MPa con porcentaje de Nanosílice según sus días de roturas



Nota: Curvas representativas del comportamiento a compresión del diseño de hormigón de $f'c=28$ MPa con diferentes porcentajes de Nanosílice de acuerdo con los días de ruptura.

4.6. ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

De acuerdo al análisis de precios unitarios realizados en este trabajo para cada dosificación patrón y con adición de Nanosílice se determinó valores diferentes debido a las resistencias que requiere esta investigación, de manera que se obtuvo un hormigón de control con un costo para $f'c = 210$ Kg/cm² de \$130,22; teniendo para un hormigón de $f'c = 240$ Kg/cm² un precio unitario de \$141,58; y un hormigón de $f'c = 280$ Kg/cm² con un costo de \$154,22 en comparación con las mezclas de Nanosílice los costos van incrementando de acuerdo al porcentaje de adición del material al 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%, por lo tanto, hablando económicamente el costo de fabricación de hormigones con adición de Nanosílice por metro cubico se elevan, por lo cual no es técnicamente económico en comparación con el costo de sus mezclas patrón. A continuación, de detallan los costos unitarios para la elaboración de cada una de las dosificaciones ($f'c = 210$ Kg/cm², $f'c =$

240 Kg/cm² y f'c = 280 Kg/cm²) y con los porcentajes de Nanosílice al 2%, 2,5%, 3%, y 3,5%.

4.6.1. Análisis de precios unitarios patrón f'c=210 Kg/cm²

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 VENEZUELA CIVIL			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosílice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	N°1		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - PATRON f'c 210 kg/cm²					
DETALLE: HORMIGON f'c = 210kg/cm2			UNIDAD: M3		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramientas menor (5%)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HI B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	8,742	8,200	71,684	
Arena	m3	0,291	18,000	5,243	
Pierda 3/4	m3	0,445	22,000	9,800	
Agua	m3	0,198	0,720	0,143	
-					
SUBTOTAL O =				86,8709	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
-					
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					104,17
INDIRECTOS Y UTILIDAD					25,00%
OTROS INDIRECTOS					%
COSTO TOTAL DEL RUBRO					130,22
VALOR OFERTADO					\$ 130,22
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.2. Análisis de precios unitarios patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - PATRON $f'c 240 \text{ kg/cm}^2$					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramientas menor (5%)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HI B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	9,896	8,200	81,147	
Arena	m3	0,271	18,000	4,875	
Pierda 3/4	m3	0,445	22,000	9,792	
Agua	m3	0,200	0,720	0,144	
-					
SUBTOTAL O =				95,9581	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					113,26
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					28,32
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					141,58
VALOR OFERTADO					\$ 141,58
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.3. Análisis de precios unitarios patrón $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - PATRON $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD: M3		
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramientas menor (5%)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HI B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	11,180	8,200	91,676	
Arena	m3	0,248	18,000	4,465	
Pierda 3/4	m3	0,445	22,000	9,784	
Agua	m3	0,201	0,720	0,145	
-					
SUBTOTAL O =				106,0691	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					123,37
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					30,84
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					154,22
VALOR OFERTADO					\$ 154,22
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.4. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil					
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 210 \text{kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ con 2% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 210 \text{kg/cm}^2$				UNIDAD:	M3
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HI B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	8,74	8,200	71,684	
Arena	m3	0,27	18,000	4,847	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,800	
Agua	m3	0,20	0,720	0,143	
Nanosilíce 2%	saco	0,11	120,000	13,200	
SUBTOTAL O =				99,6749	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					116,98
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					29,24
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					146,22
VALOR OFERTADO					\$ 146,22
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.5. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosilice

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ con 2,5% Nanosilice					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-					
-					
-					
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	8,74	8,200	71,684	
Arena	m3	0,26	18,000	4,748	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,800	
Agua	m3	0,20	0,720	0,143	
Nanosilice 2,5%	saco	0,14	120,000	16,800	
SUBTOTAL O =				103,1759	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					120,48
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					30,12
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					150,60
VALOR OFERTADO					\$ 150,60
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.6. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,0% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ con 3% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /H B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-					
-					
-					
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	8,74	8,200	71,684	
Arena	m3	0,26	18,000	4,649	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,800	
Agua	m3	0,20	0,720	0,143	
Nanosilíce 3%	saco	0,17	120,000	20,400	
SUBTOTAL O =				106,679	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					123,98
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					31,00
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					154,98
VALOR OFERTADO					\$ 154,98
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.7. Análisis de precios unitarios $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosilice

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 210 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% Nanosilice					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 210\text{kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	8,74	8,200	71,684	
Arena	m3	0,25	18,000	4,550	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,800	
Agua	m3	0,20	0,720	0,143	
Nanosilice 3,5%	saco	0,19	120,000	22,800	
SUBTOTAL O =				108,9779	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					126,28
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					31,57
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					157,85
VALOR OFERTADO					\$ 157,85
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.8. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosilice

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil					
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial			Revisado por:
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 240\text{kg/cm}^2$			Ing. Richard Ramirez
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 240 \text{ kg/cm}^2$ con 2% Nanosilice					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 240\text{kg/cm}^2$					UNIDAD: M3
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	9,90	8,200	81,147	
Arena	m3	0,25	18,000	4,500	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,792	
Agua	m3	0,20	0,720	0,144	
Nanosilice 2%	saco	0,11	120,000	13,200	
SUBTOTAL O =				108,7834	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					126,09
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					31,52
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					157,61
VALOR OFERTADO					\$ 157,61
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.9. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 240 \text{ kg/cm}^2$ con 2,5% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	9,90	8,200	81,147	
Arena	m3	0,24	18,000	4,380	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,792	
Agua	m3	0,20	0,720	0,144	
Nanosilíce 2,5%	saco	0,14	120,000	16,560	
SUBTOTAL O =				112,0231	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					129,33
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					32,33
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					161,66
VALOR OFERTADO					\$ 161,66
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.10. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 240 \text{ kg/cm}^2$ con 3% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	9,90	8,200	81,147	
Arena	m3	0,24	18,000	4,281	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,792	
Agua	m3	0,20	0,720	0,144	
Nanosilíce 3%	saco	0,17	120,000	19,800	
SUBTOTAL O =					115,1641
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =					0,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					132,47
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					33,12
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					165,58
VALOR OFERTADO					\$ 165,58
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.11. Análisis de precios unitarios $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 240 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	9,90	8,200	81,147	
Arena	m3	0,23	18,000	4,182	
Pierda 3/4	m3	0,45	22,000	9,792	
Agua	m3	0,20	0,720	0,144	
Nanosilíce 3,5%	saco	0,19	120,000	23,160	
SUBTOTAL O =					118,4251
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =					0,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS $X=(M+N+O+P)$					135,73
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					33,93
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					169,66
VALOR OFERTADO					\$ 169,66
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.12. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2% de Nanosilice

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 280\text{kg/cm}^2$		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2% Nanosilice					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 280\text{kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	11,18	8,200	91,679	
Arena	m3	0,23	18,000	4,069	
Pierda 3/4	m3	0,44	22,000	9,784	
Agua	m3	0,20	0,720	0,145	
Nanosilice 2%	saco	0,11	120,000	13,200	
SUBTOTAL O =					118,8764
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =					0,0000
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					136,18
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					34,04
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					170,22
VALOR OFERTADO					\$ 170,22
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.13. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 2,5% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete.Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 280\text{kg/cm}^2$		Ing.Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2,5% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 280\text{kg/cm}^2$				UNIDAD:	M3
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	11,18	8,200	91,676	
Arena	m3	0,25	18,000	4,500	
Pierda 3/4	m3	0,44	22,000	9,784	
Agua	m3	0,20	0,720	0,145	
Nanosilíce 2,5%	saco	0,14	120,000	16,560	
SUBTOTAL O =				122,6643	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					139,97
INDIRECTOS Y UTILIDAD 25,00%					34,99
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					174,96
VALOR OFERTADO					\$ 174,96
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.14. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de Nanosilice

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil					
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3% Nanosilice					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concretera	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-		-			
-		-			
-		-			
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	11,18	8,200	91,676	
Arena	m3	0,25	18,000	4,500	
Pierda 3/4	m3	0,44	22,000	9,784	
Agua	m3	0,20	0,720	0,145	
Nanosilice 3%	saco	0,17	120,000	19,800	
SUBTOTAL O =				125,9043	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					143,21
INDIRECTOS Y UTILIDAD				25,00%	35,80
OTROS INDIRECTOS				%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					179,01
VALOR OFERTADO					\$ 179,01
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

4.6.15. Análisis de precios unitarios $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ con 3,5% de Nanosilíce

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil		 INGENIERIA CIVIL UPSE			
Tema					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilíce en porcentajes de 2%,2,5%,3%,3,5%					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:	
	Rubro:	HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$		Ing. Richard Ramirez	
	Fecha:	31/7/2022			
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS - $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ con 3,5% Nanosilíce					
DETALLE: HORMIGON $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$			UNIDAD:	M3	
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Herramienta menor (5 % M/O)					0,66
Concreteira	1,00	5,00	5,00	0,40	2,00
Vibrador	1,00	3,75	3,75	0,40	1,50
-					
-					
-					
SUBTOTAL M =					4,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION (CATEGORIAS)	CANTIDAD A	ORNAL /HF B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
Peón	6,00	3,83	22,98	0,40	9,19
Albañil	2,00	3,87	7,74	0,40	3,10
Maestro mayor para ejecución	0,50	4,29	2,15	0,40	0,86
-					
-					
-					
SUBTOTAL N =					13,15
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
Cemento	saco	11,18	8,200	91,676	
Arena	m3	0,25	18,000	4,500	
Pierda 3/4	m3	0,44	22,000	9,784	
Agua	m3	0,20	0,720	0,145	
Nanosilíce 3,5%	saco	0,19	120,000	23,160	
SUBTOTAL O =				129,2643	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL P =				0,0000	
TOTAL COSTO DIRECTOS X=(M+N+O+P)					146,57
INDIRECTOS Y UTILIDAD				25,00%	36,64
OTROS INDIRECTOS				%	
COSTO TOTAL DEL RUBRO					183,21
VALOR OFERTADO					\$ 183,21
OBSERVACIONES: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA					

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El Nanosílice como nanomaterial para la construcción presenta una densidad relativa de 50 kg/m³, entre sus efectos de proceso se evidencia su fácil compactación, en cuanto a su reactividad, no se observó reacción al contacto con el agregado fino, agregado grueso o el agua, a diferencia que con el cemento GU mostró una disminución de la fluidez del hormigón fresco producto de la formación del mineral tobermorita (C-H-S) o la portlandita.

El cemento GU es un cemento hidráulico que cumple con la norma NTE INEN 2380:2011, en Perú está clasificado como cemento Portland GU, y en Europa clasificaría como un cemento puzolánico porque tiene una composición química de clinker (45-64), adiciones minerales (36-35) y una consistencia minoritaria (0-5).

Los agregados empleados en las mezclas de hormigón cumplieron con los requerimientos establecidos por la norma NTE INEN 872:2011, para ser utilizados en los diseños propuestos del presente trabajo de investigación, de igual forma, para la selección de los demás componentes para las mezclas de hormigón se basó en las normas ACI 211-1 y ACI 211-4R.

✓ La determinación de la propiedad mecánica a compresión:

Con los resultados obtenidos de los ensayos de rotura de cilindros, se evidenció que la mayoría de las dosificaciones experimentaron porcentajes de altas resistencias a tempranas edades (3 y 7 días), esto como respuesta favorable del Nanosílice, ya que por su extrema finura permite una rápida hidratación en la mezcla de hormigón acelerando su endurecimiento, sin embargo, posteriormente (14 y 28 días) decrece su resistencia, aunque anteriores investigaciones plantean que a los 56 o 180 días alcanza su resistencia máxima.

- a) El diseño de 21 MPa con adición de Nanosílice al 3,5%, fue el porcentaje que menos declinación experimentó en su resistencia, alcanzando valores superiores a diferencia de los porcentajes del 2,0%, 2,5% y 3,0%.
 - b) El diseño de 24 MPa con adición de Nanosílice al 3,0%, fue el porcentaje que menos declinación experimento en su resistencia, alcanzando valores superiores a diferencia de los porcentajes del 2,0%, 2,5% y 3,5%.
 - c) El diseño de 28 MPa con adición de Nanosílice al 3,5%, fue el porcentaje que menos declinación experimento en su resistencia, alcanzando valores superiores a diferencia de los porcentajes del 2,0%, 2,5% y 3,0%.
- ✓ La determinación de la propiedad mecánica a flexión:
- a) Con las roturas efectuadas se determinó que la resistencia a la flexión de las resistencias consideradas en la presente investigación con sus respectivos porcentajes de Nanosílice, no cumplen con el diseño patrón, tal y como lo demuestran las figuras 32, 33, y 34, ubicándose por debajo de las resistencias de diseño.

El análisis de precios unitarios para las dosificaciones de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa con adición de Nanosílice de 2%, 2,5%, 3% y 3,5% respectivamente establece que a medida que varía la implementación del aditivo, el costo por metro cubico incrementa. Para el 2% de Nanosílice, el precio unitario aumenta un 12% del precio de la mezcla patrón, al 2,5% de Nanosílice hay un incremento del 15% de costo, para el 3% de adición del Nanosílice en la mezcla se tiene aumento de precio unitario de 19% al precio normal patrón y finalmente al 3,5% de adición de Nanosílice se tiene un incremento del 21% del precio unitario normal patrón, concluyéndose que haciendo uso de este aditivo no existe como tal un ahorro monetario, siendo esta condición no favorable considerando que este tipo de material es importado y aun no se expande su utilización en el campo de la construcción.

5.2. RECOMENDACIONES

Hacer uso de superplastificantes en la mezcla de hormigón con adición de Nanosílice permitirá obtener un compuesto homogéneo y mejorar sus propiedades en estado fresco

como endurecido, donde cumpliría con una buena trabajabilidad, consistencia y no experimentaría segregación.

Aumentar el número de probetas cilíndricas para que se puedan realizar los ensayos de resistencia a la compresión con una prolongación de edades que van a parte de los 3, 7, 14, 28, 56 y 180 días de curado, siendo evaluados mediante datos representativos si existe un incremento hasta su máxima resistencia verificando a su vez las propiedades físicas de las probetas de hormigón.

Se recomienda que se profundice la nanotecnología en el ámbito de la investigación dentro de la provincia de Santa Elena debido a que esta tecnología se encuentra en desarrollo en el campo de los materiales de construcción, nuestra provincia se encuentra el perfil costanero donde los hormigones están expuestos a la salinidad siendo este uno de los principales factores que influyen en el deterioro de los hormigones como consecuencia se pierden propiedades mecánicas y físicas.

Así mismo, es recomendable trabajar con otros tipos de agregados, como es el caso de la piedra caliza ubicada en la Comuna San Vicente dentro de la provincia de Santa Elena, este agregado es sometido a ensayos de laboratorio de manera que se la utilice para la elaboración de mezclas de hormigón alcanzando eficientes propiedades físicas y mecánicas, de tal forma que se mezcle satisfactoriamente con el Nanosílice y así, permita obtener altas resistencias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ASTM C 33. (2003). *Especificación estándar para AGREGADOS PARA CONCRETO*. <https://pdfcoffee.com/astm-c33-03-espaol-5-pdf-free.html>
- 2) Barrionuevo Castañeda, A. A. y Tapia Vargas, J. F. (2021). *Estudio de un hormigón Eco-Amigable de alto desempeño (HPC) fabricado con la incorporación de una mezcla entre Micro-Nano Sílice* [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22697>
- 3) Basurto Basurto, G. y González Alfonso, V. (2021). *Implementación de nanosílice para mejorar las propiedades mecánicas de un hormigón convencional con cemento portland tipo I aplicado en estructuras de hormigón armado en los Cantones de Santa Elena, La Libertad y Salinas, Provincia de Santa Elena* [UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6943>
- 4) Bazán González, B. y Holguín Vera, J. (2021). *Evaluación del desempeño de pavimentos rígidos incorporando en su diseño fibra de coco*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6499>
- 5) Brace, H. y Garcia-Taengua, E. (2018, March 5). *Efectividad de la dosificación de superplastificante sobre la dispersión de nanopartículas en el hormigón*. <https://doi.org/10.4995/hac2018.2018.5965>
- 6) Caballero Arredondo, P. W. y Damiani Lazo, C. A. y Ruiz Pico, Á. A. y Caballero Arredondo, P. W. y Damiani Lazo, C. A. y Ruiz Pico, Á. 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), 71–87. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732021000100071>
- 7) Chuzón Villacorta, J. F. y Ramírez Guevara, E. E. (2020). Diseño de concreto $f_c=210$ kg/cm² adicionando nanosílice para mejorar su resistencia a la compresión, Tarapoto 2020. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59055#.YrV-d2L1Vko.mendeley>

- 8) de la Cruz, H. (2018). *Efectos del curado en las propiedades mecánicas del hormigón con cementos Portland y por desempeño* [UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO (USFQ)]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7903/1/141072.pdf>
- 9) EVONIK OPERACIONES GMBH. (2021). *Reporte técnico del AEROSIL® 200*. www.aerosil.jp
- 10) Garófalo, A. (2015). *EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS CEMENTOS A PARTIR DE LA CORRELACIÓN DE SUS PROPIEDADES ASOCIADAS CON LA PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/46d6ebaf-5532-4381-8941-0c4df44f8b78/D-CD102084.pdf>
- 11) Gessa, A. y Sancha, M. del P. (2014). Alternativas de reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en la producción de cemento. Propuesta de un modelo de evaluación. *INNOVAR*. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/innovar.v26n60.55532>
- 12) González, L. y Molina, O. y Portela, G. y Reyes, E. (2021, April). ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO EN HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO QUE EMPLEAN NANOSÍLICE. *Revista Ciencia y Construcción*, 4. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/10/15>
- 13) Guevara, G. y Hidalgo, C. y Pizarro, M. y Rodríguez, I. y Rojas, L. y Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología En Marcha*, 25(2), 80–86. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835626.pdf>
- 14) Holcim Ecuador S.A. (2022). *Cemento Holcim Fuerte - Ficha Técnica*. <https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-fuerte.pdf>
- 15) Ilzarbe Izquierdo, L. y Tanco, M. y Viles, E. y Álvarez Sánchez-Arjona, M. J. (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta Design of Experiments as a Tool for Process Improvement. *Methodology Applied to a Catapult*. *TECNURA*, 10, 127–138. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257021012011>
- 16) INECYC. (2007). *El Manual de Pepe Hormigón* (INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y EL CONCRETO - INECYC &

- ASOCAICON DE PRODUCTORES DE HORMIGÓN PREMEZCLADO DEL ECUADOR - APROHOPEC, Eds.; PRIMERA).
- 17) INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION - INEN. (2010). *CEMENTO HIDRÁULICO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS NTE INEN 151:2010*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/151.pdf>
 - 18) Instituto Ecuatoriano de Normalización - INEN. (2011). *CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
 - 19) INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION - INEN. (2015). *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA NTE INEN 1762*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/n-te-inen-1762-1.pdf>
 - 20) INSTITUTO ECUATORIANA DE NORMALIZACIÓN. (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS NTE INEN 872*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
 - 21) Instituto Mexicano del Cemento y de Concreto, A. C. , IMCYC. (2016, April 29). CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO. *Nanotecnología y Concreto*, 6, 16–20. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/mayo2016/mayo2016.pdf>
 - 22) Jaimes, D. y García, J. y Rondón, J. (2020). *Importancia del concreto en el campo de la construcción*. 2. <https://orcid.org/0000-0003-0414->
 - 23) Muñoz Pérez, S. P. y Tuse Vargas, Y. M. y Guerrero Santisteban, K. J. y Vázquez Pérez, Y. A. (2021). Uso de Nanomateriales en la Producción del Concreto: Revisión Literaria. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, 6(4), 74–87. <https://doi.org/10.25286/repa.v6i4.1676>
 - 24) Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
 - 25) Sánchez, E. y Bernal, J. y Moragues, A. y León, N. (2016). Propiedades reológicas y mecánicas de un hormigón autocompactante con adición de nano-sílice y micro-sílice. *Revista ALCONPAT*, 6(1), 1–14. <https://doi.org/10.21041/ra.v6i1.111>
 - 26) Tobón, J. I. y Jaime, O. y Baena, R. y Juan, J. y Bernabeu, P. (2007). *ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS AL CEMENTO PORTLAND CEMENT BLENDED WITH NANOPARTICLES*. 152, 277–291.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532007000200025&lang=es

- 27) Troyano, M. (2019). Componentes del Hormigón. *UNIVERSIDAD DE MÁLAGA*. <https://hdl.handle.net/10630/17355>
- 28) Yagual, C. y Limón, J. (2021). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO RÍGIDO CONVENCIONAL CON PAVIMENTO RÍGIDO ADICIONANDO FIBRA DE ALUMINIO PARA MEJORAR SUS RESISTENCIA*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5963>
- 29) Zambrano Navarrete, L. D. y Alava Santos, R. J. y Ruíz Párraga, W. E. y Menéndez, E. A. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35–47. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA231.4>
- 30) AC1 211, A. C. (1998). *Guía para dosificar mezclas de concreto*.
- 31) INEN 154, N. (1986). *Dimensiones nominales de las aberturas*. Quito-Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- 32) INEN 1573, N. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de hormigón de cemento hidráulico*. Quito-Ecuador: Norma Técnica Ecuatoriana.
- 33) INEN 1576, N. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de normalización.
- 34) INEN 1578, N. (2010). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de asentamiento*. Quito- Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- 35) INEN 2380, N. (2011). *Cemento Hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- 36) INEN 2554, N. (2011). *Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la flexión del hormigón*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- 37) INEN 696, N. (2011). *Análisis granulométrico en los áridos, finos y grueso*. Quito-Ecuador: INEN.

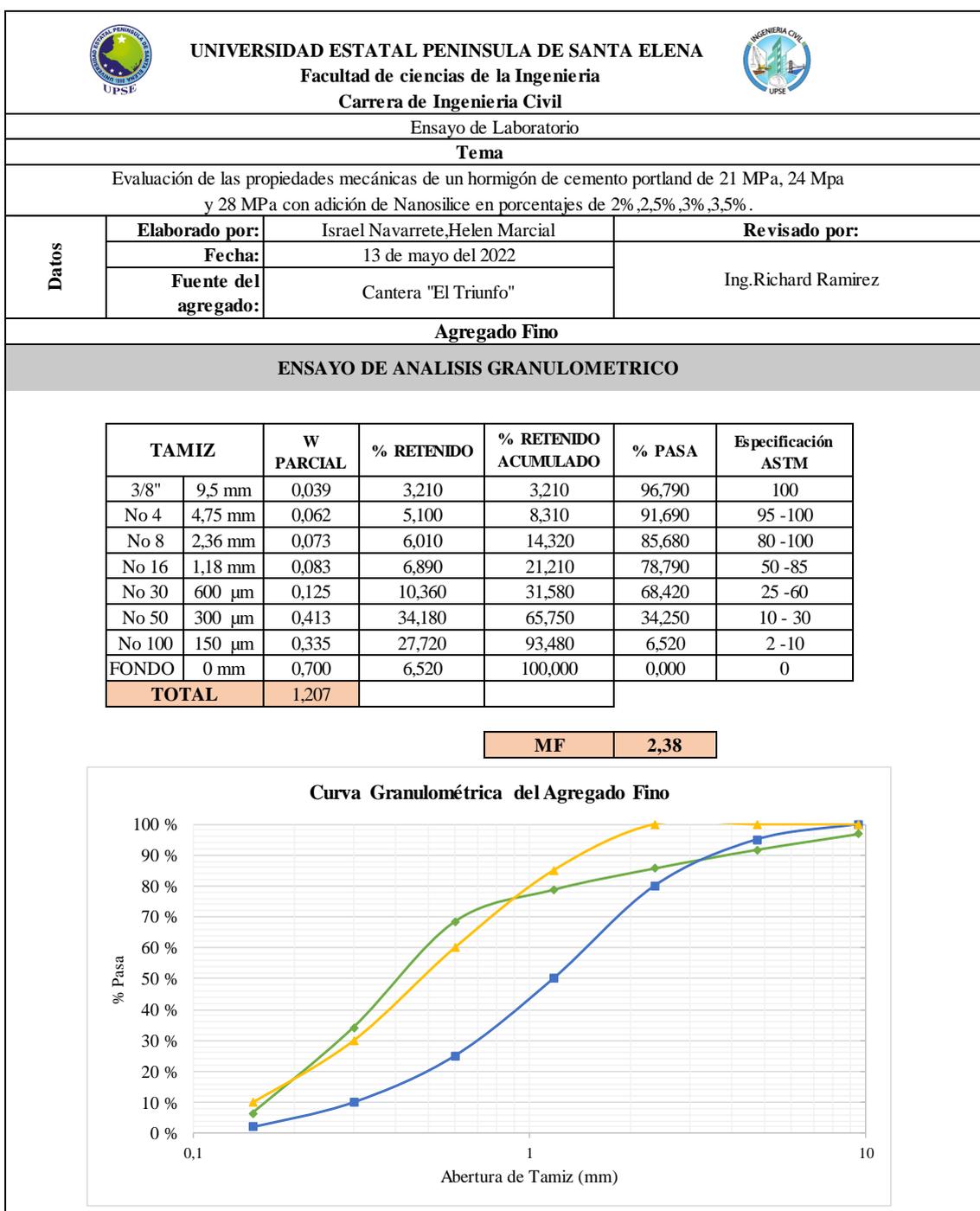
- 38) INEN 856, N. (2010). *Determinación de la densidad y absorción del árido fino*. Quito-Ecuador: INEN.
- 39) INEN 857, N. (2010). *Determinación de la densidad y absorción del árido grueso*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- 40) INEN 858, N. (2010). *Determinación de la masa unitaria (Peso Volumetrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito-Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- 41) INEN 862, N. (2011). *Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito-Ecuador: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- 42) MOP, M. d. (2002). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito-Ecuador.
- 43) Silva Junior, P. F. (2017). *Estudo da estabilidade dimensional de concretos de alta resistência com adição de polímero superabsorvente e nanopartículas de sílica*. Brasil: Universidade de Brasília.
- 44) Wilmer Balón, G. S. (2021). *Diseño de hormigón con agregados calcareos provenientes de la formación el tablazo y su aplicación en la elaboración de adoquín de tráfico ligero-peatonal*. La Libertad-Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- 45) Instituto Nacional de Seguridad, S. y. (2017). *Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción*. España - Madrid: INSSBT.
- 46) Internacional, O. F. (2019). *Los nanomateriales en el sector de la construcción*. España. Obtenido de <https://fiorp.org/los-nanomateriales-en-el-sector-de-la-construccion/>
- 47) Leon Arzapalo, Christian Raul. (2017). *Las partículas de Nanosílice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo*. Perú: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5121>
- 48) Molina Villar, Fredy Roland. (2017). *Influencia de la adición de Nanosílice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la Ciudad de Arequipa*. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN.
- 49) Moreno, E. G. (2012). *Influencia de la Nanosílice sobre las características de un microhormigón de ultra alta resistencia*. Obtenido de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16558/Eduardo%20Galeote%20Moreno%202012%20-%20Influencia%20de%20la%20nanos%20C3%ADlice%20sobre%20las%20caracter%20C3%ADsticas%20de%20un%20microhormig%20C3%B3n%20de%20ultra%20alta%20res~1.pdf?sequence=2>

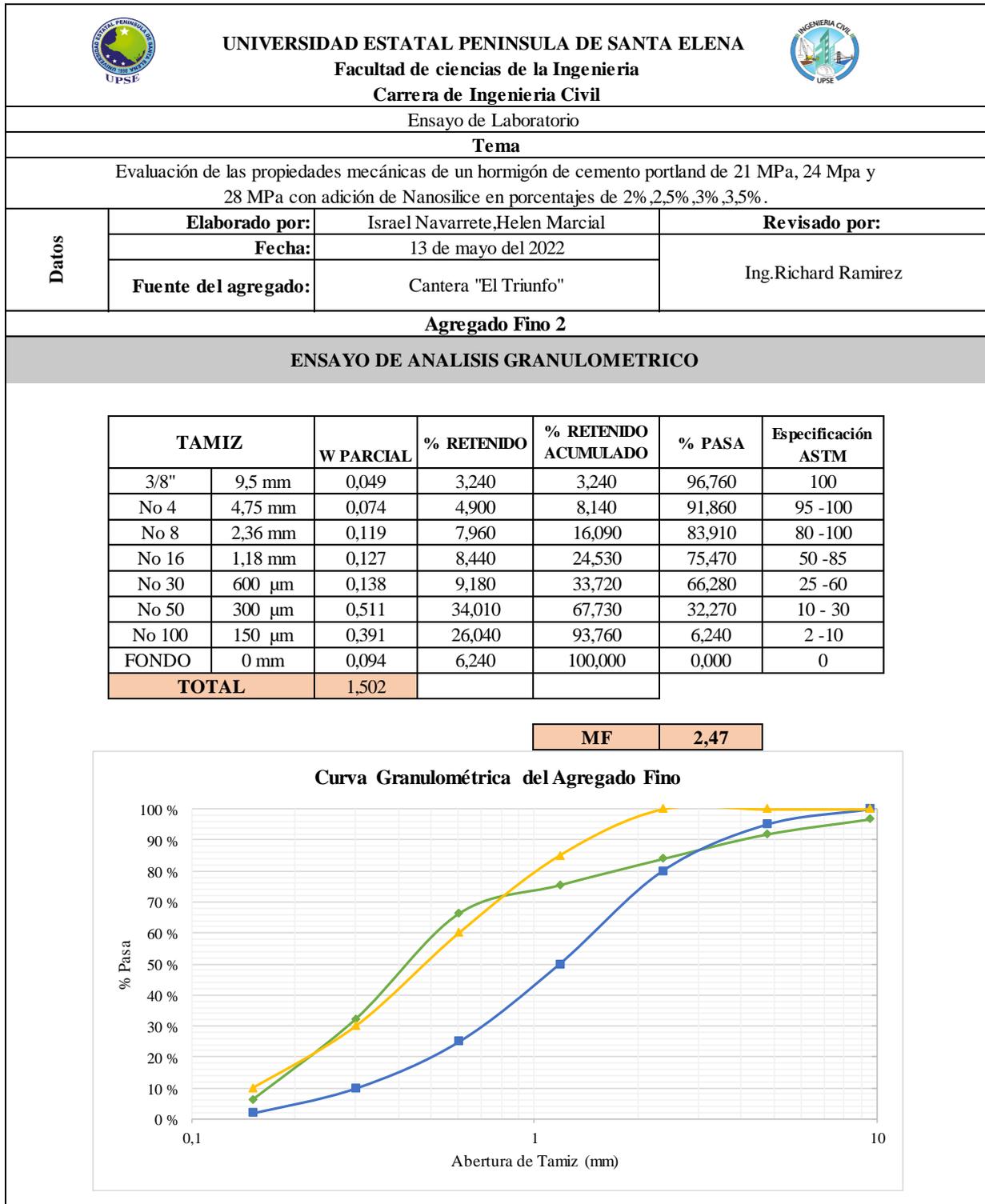
- 50) Instituto Nacional de Seguridad, S. y. (2017). *Exposición potencial a nanomateriales en el sector de la construcción*. España - Madrid: INSSBT.
- 51) Internacional, O. F. (2019). *Los nanomateriales en el sector de la construcción*. España. Obtenido de <https://fiorp.org/los-nanomateriales-en-el-sector-de-la-construccion/>
- 52) Leon Arzapalo, Christian Raul. (2017). *Las partículas de Nanosílice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo*. Perú: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/5121>
- 53) Molina Villar, Fredy Roland. (2017). *Influencia de la adición de Nanosílice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la Ciudad de Arequipa*. Perú: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN.
- 54) Moreno, E. G. (2012). *Influencia de la Nanosílice sobre las características de un microhormigón de ultra alta resistencia*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16558/Eduardo%20Galeote%20Moreno%202012%20-%20Influencia%20de%20la%20nanos%20C3%ADlice%20sobre%20las%20caracter%20C3%ADsticas%20de%20un%20microhormig%20C3%B3n%20de%20ultra%20alta%20res~1.pdf?sequence=2>
- 55) Ramirez Morales, J. J. (2018). *Concreto liviano de alta resistencia empleando Nanosílice y puzolana natural en el Perú*. Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.
- 56) Vidal, A. L. (2017). *Construcción modular en hormigón*. Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN, 49.
- 56) Ramirez Morales, J. J. (2018). *Concreto liviano de alta resistencia empleando Nanosílice y puzolana natural en el Perú*. Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis granulométrico agregado fino (Muestra 1) (NTE INEN 696).



Anexo 2. Análisis granulométrico agregado fino (Muestra 2) (NTE INEN 696).



Anexo 3. Determinación de la Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado grueso (NTE INEN 857).

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil 																										
Ensayo de Laboratorio																										
Tema																										
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2% ,2,5% ,3% ,3,5% .																										
Datos	Elaborado por: Israel Navarrete,Helen Marcial	Revisado por:																								
	Fecha: 12 de mayo del 2022	Ing.Richard Ramirez																								
	Fuente del agregado: Cantera "El Triunfo"																									
Agregado Grueso																										
DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA(D.S.S.S) Y % DE ABSORCION																										
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Densidad Saturada Superficialmente Seca (D.S.S.S.)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P.S.S.S.</td> <td>2000,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W(canastilla sumergido)</td> <td>1070,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W(canastilla sumergido + material)</td> <td>2298,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W(can sumer+mat)-W(can sumer)</td> <td>1228,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>VOLUMEN</td> <td>772,00</td> <td>cm3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">D.S.S.S.</td> <td>2,59</td> <td>gr/cm3</td> </tr> <tr> <td>2590,67</td> <td>Kg/m3</td> </tr> </tbody> </table>			Densidad Saturada Superficialmente Seca (D.S.S.S.)			P.S.S.S.	2000,00	gr	W(canastilla sumergido)	1070,00	gr	W(canastilla sumergido + material)	2298,00	gr	W(can sumer+mat)-W(can sumer)	1228,00	gr	VOLUMEN	772,00	cm3	D.S.S.S.	2,59	gr/cm3	2590,67	Kg/m3	
Densidad Saturada Superficialmente Seca (D.S.S.S.)																										
P.S.S.S.	2000,00	gr																								
W(canastilla sumergido)	1070,00	gr																								
W(canastilla sumergido + material)	2298,00	gr																								
W(can sumer+mat)-W(can sumer)	1228,00	gr																								
VOLUMEN	772,00	cm3																								
D.S.S.S.	2,59	gr/cm3																								
	2590,67	Kg/m3																								
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Porcentaje de absorción %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RECIPIENTE</td> <td>(T-22)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W RECIPIENTE</td> <td>124,90</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W GRAVA SATURADA+ R</td> <td>1248,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W GRAVA SECA+ R</td> <td>1224,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W de AGUA</td> <td>24,00</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>W GRAVA SECA</td> <td>1099,10</td> <td>gr</td> </tr> <tr> <td>% ABSORCION</td> <td>2,18</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>			Porcentaje de absorción %			RECIPIENTE	(T-22)		W RECIPIENTE	124,90	gr	W GRAVA SATURADA+ R	1248,00	gr	W GRAVA SECA+ R	1224,00	gr	W de AGUA	24,00	gr	W GRAVA SECA	1099,10	gr	% ABSORCION	2,18	%
Porcentaje de absorción %																										
RECIPIENTE	(T-22)																									
W RECIPIENTE	124,90	gr																								
W GRAVA SATURADA+ R	1248,00	gr																								
W GRAVA SECA+ R	1224,00	gr																								
W de AGUA	24,00	gr																								
W GRAVA SECA	1099,10	gr																								
% ABSORCION	2,18	%																								

Anexo 4. Determinación de la Densidad Saturada Superficialmente Seca del agregado fino (NTE INEN 856).

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil			
Ensayo de Laboratorio			
Tema			
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2% ,2,5% ,3% ,3,5% .			
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete,Helen Marcial	Revisado por: Ing.Richard Ramirez
	Fecha:	12 de mayo del 2022	
	Fuente del agregado:	Cantera "El Triunfo"	
Agregado Fino			
DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA(D.S.S.S) Y % DE ABSORCION			
Densidad Saturada Superficialmente Seca (D.S.S.S.)			
P.S.S.S.	500,00	gr	
LECTURA INICIAL	510,00	gr	
LECTURA FINAL	700,00	gr	
W (desalojado)	190,00	gr	
VOLUMEN	190,00	cm3	
D.S.S.S.	2,63	gr/cm3	
	2631,58	Kg/m3	
Porcentaje de absorción %			
RECIPIENTE	R-15		
W RECIPIENTE	38,89	gr	
W ARENA SATURADA+ R	476,07	gr	
W ARENA SECA+ R	469,28	gr	
W de AGUA	6,79	gr	
W ARENA SECA	430,39	gr	
% ABSORCION	1,58	%	

Anexo 5. Ensayo Determinación del Contenido de Húmedad (NTE INEN 862)

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carerra de Ingeniería Civil																											
Ensayo de Laboratorio																													
Tema																													
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%.																													
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial		Revisado por:																									
	Fecha:	13 de mayo del 2022		Ing. Richard Ramirez																									
	Fuente del agregado:	Cantera "El Triunfo"																											
Agregado Grueso y fino																													
ENSAYO DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD																													
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #cccccc;">HUMEDAD DE ARENA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">S3</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W RECIPIENTE (gr)</td> <td style="text-align: center;">98,51</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W ARENA+ R</td> <td style="text-align: center;">930,00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W ARENA SECA+ R</td> <td style="text-align: center;">894,00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W de AGUA</td> <td style="text-align: center;">36,00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W ARENA SECA</td> <td style="text-align: center;">795,49</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">HUMEDAD</td> <td style="text-align: center;">4,53</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> </tbody> </table>						HUMEDAD DE ARENA			RECIPIENTE	S3		W RECIPIENTE (gr)	98,51	gr	W ARENA+ R	930,00	gr	W ARENA SECA+ R	894,00	gr	W de AGUA	36,00	gr	W ARENA SECA	795,49	gr	HUMEDAD	4,53	%
HUMEDAD DE ARENA																													
RECIPIENTE	S3																												
W RECIPIENTE (gr)	98,51	gr																											
W ARENA+ R	930,00	gr																											
W ARENA SECA+ R	894,00	gr																											
W de AGUA	36,00	gr																											
W ARENA SECA	795,49	gr																											
HUMEDAD	4,53	%																											
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #cccccc;">HUMEDAD DE GRAVA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">MP2</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">140,00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W GRAVA SATURADA+ R</td> <td style="text-align: center;">1050,00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W GRAVA SECA+ R</td> <td style="text-align: center;">1029,69</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W de AGUA</td> <td style="text-align: center;">20,31</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">W GRAVA SECA</td> <td style="text-align: center;">889,69</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">% ABSORCION</td> <td style="text-align: center;">2,28</td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> </tbody> </table>						HUMEDAD DE GRAVA			RECIPIENTE	MP2		W RECIPIENTE	140,00	gr	W GRAVA SATURADA+ R	1050,00	gr	W GRAVA SECA+ R	1029,69	gr	W de AGUA	20,31	gr	W GRAVA SECA	889,69	gr	% ABSORCION	2,28	%
HUMEDAD DE GRAVA																													
RECIPIENTE	MP2																												
W RECIPIENTE	140,00	gr																											
W GRAVA SATURADA+ R	1050,00	gr																											
W GRAVA SECA+ R	1029,69	gr																											
W de AGUA	20,31	gr																											
W GRAVA SECA	889,69	gr																											
% ABSORCION	2,28	%																											

Anexo 6. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) del agregado fino (NTE INEN 858).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil																				
Ensayo de Laboratorio																					
Tema																					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%.																					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial	Revisado por:																		
	Fecha:	14 de mayo del 2022	Ing. Richard Ramirez																		
	Fuente del	Cantera "El Triunfo"																			
Agregado Fino																					
ENSAYO DE DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMETRICO)																					
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">PESO VOLUMETRICO SUELTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VOLUMEN</td> <td style="text-align: center;">0,00281</td> <td style="text-align: center;">m3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.S.+ R</td> <td style="text-align: center;">7,98</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">4,42</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PESO DEL MATERIAL</td> <td style="text-align: center;">3,56</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.S.</td> <td style="text-align: center;">1266,90</td> <td style="text-align: center;">kg/m3</td> </tr> </tbody> </table>				PESO VOLUMETRICO SUELTO			VOLUMEN	0,00281	m3	P.V.S.+ R	7,98	Kg	RECIPIENTE	4,42	Kg	PESO DEL MATERIAL	3,56	Kg	P.V.S.	1266,90	kg/m3
PESO VOLUMETRICO SUELTO																					
VOLUMEN	0,00281	m3																			
P.V.S.+ R	7,98	Kg																			
RECIPIENTE	4,42	Kg																			
PESO DEL MATERIAL	3,56	Kg																			
P.V.S.	1266,90	kg/m3																			

Anexo 7. Ensayo de Determinación de la Masa Unitaria (Peso Volumétrico) del agregado grueso (NTE INEN 858).

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA Facultad de ciencias de la Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil																					
Ensayo de Laboratorio																					
Tema																					
Evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón de cemento portland de 21 MPa, 24 Mpa y 28 MPa con adición de Nanosilice en porcentajes de 2%, 2,5%, 3%, 3,5%.																					
Datos	Elaborado por:	Israel Navarrete, Helen Marcial	Revisado por: Ing. Richard Ramirez																		
	Fecha:	14 de mayo del 2022																			
	Fuente del agregado:	Cantera "El Triunfo"																			
Agregado Grueso																					
ENSAYO DE DETERMINACION DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMETRICO)																					
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">PESO VOLUMETRICO SUELTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VOLUMEN</td> <td style="text-align: center;">0,009736</td> <td style="text-align: center;">m3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.S.+ R</td> <td style="text-align: center;">23,76</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">10,94</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PESO DEL MATERIAL</td> <td style="text-align: center;">12,82</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.S.</td> <td style="text-align: center;">1316,76</td> <td style="text-align: center;">kg/m3</td> </tr> </tbody> </table>				PESO VOLUMETRICO SUELTO			VOLUMEN	0,009736	m3	P.V.S.+ R	23,76	Kg	RECIPIENTE	10,94	Kg	PESO DEL MATERIAL	12,82	Kg	P.V.S.	1316,76	kg/m3
PESO VOLUMETRICO SUELTO																					
VOLUMEN	0,009736	m3																			
P.V.S.+ R	23,76	Kg																			
RECIPIENTE	10,94	Kg																			
PESO DEL MATERIAL	12,82	Kg																			
P.V.S.	1316,76	kg/m3																			
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">PESO VOLUMETRICO VARILLADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">VOLUMEN</td> <td style="text-align: center;">0,00974</td> <td style="text-align: center;">m3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.V.+ R</td> <td style="text-align: center;">25,32</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">RECIPIENTE</td> <td style="text-align: center;">10,940</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">PESO DEL MATERIAL</td> <td style="text-align: center;">14,38</td> <td style="text-align: center;">Kg</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P.V.V.</td> <td style="text-align: center;">1476,386</td> <td style="text-align: center;">kg/m3</td> </tr> </tbody> </table>				PESO VOLUMETRICO VARILLADO			VOLUMEN	0,00974	m3	P.V.V.+ R	25,32	Kg	RECIPIENTE	10,940	Kg	PESO DEL MATERIAL	14,38	Kg	P.V.V.	1476,386	kg/m3
PESO VOLUMETRICO VARILLADO																					
VOLUMEN	0,00974	m3																			
P.V.V.+ R	25,32	Kg																			
RECIPIENTE	10,940	Kg																			
PESO DEL MATERIAL	14,38	Kg																			
P.V.V.	1476,386	kg/m3																			

Anexo. 8. Registro fotográfico del proceso de elaboración de probetas de hormigón.

Figura 47

Mezcla de del hormigón y posterior ensayo de revenimiento.



Figura 48

Fundición de cilindros de hormigón



Figura 49

Desenfofrado y sumergimiento de las probetas de hormigón en las piscinas de curado.



Figura 50

Medición y posterior rotura de cilindro de hormigón

