



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

**“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”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**GREGORIO EFRAÍN BASURTO BASURTO.  
VICTOR HUGO GONZÁLEZ ALFONZO**

**Tutor:**

**ING. ALEJANDRO CRISÓSTOMO VÉLIZ AGUAYO, PhD.**

**La Libertad, Ecuador**

**2021**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

“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.”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Autores:**

GREGORIO EFRAÍN BASURTO BASURTO.

VICTOR HUGO GONZÁLEZ ALFONZO.


**Tutor:**

ING. ALEJANDRO CRISÓSTOMO VÉLIZ AGUAYO, PhD.


La Libertad, Ecuador

2021

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.   
Ing. Jonny Villao Borbor, MSc.  
DIRECTOR DE CARRERA

f.   
Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar.  
DOCENTE ESPECIALISTA.

f.   
Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo, PhD.  
DOCENTE TUTOR.

f.   
Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar.  
DOCENTE ESPECIALISTA.

*Dedicado a Dios por ser parte de esta victoria.*

*Dedicado a la persona más importante de mi vida, la que ha visto este proceso, la que puso la motivación de progreso e instalo la idea de ser alguien con grandes expectativas a la persona que siempre estuvo ahí cuando más lo necesitaba, Mi Madre.*

*A todos mis amigos del barrio que crecieron conmigo, que vean que, si se puede superar en la vida, pero primero hay que superarnos a nosotros mismos, esos pibes que siempre creyeron en mí, aunque me aleje de ellos, siempre supieron que era por mejorar en lo personal y extendieron su apoyo en ayuda hacia mi familia.*

**Gregorio Efraín Basurto.**

*A Dios:*

*Que me dio el regalo de la vida  
y cuida de mí siempre.*

*A mi abuela:*

*Principal motivo para obtener  
el título de tercer nivel.*

*A mis padres:*

*Quienes son la guía de mi vida,  
este logro es para ellos.*

*A mis hermanos:*

*Los dos motivos de superación,  
para quienes soy ejemplo a  
seguir.*

*A mi prometida y su familia:*

*Quienes me brindaron su ayuda  
en esta etapa de vida  
universitaria.*

*A mis amigos de escuela,  
colegio y del fútbol:*

*Sus palabras de aliento y  
superación siempre estarán  
presentes. “Solo vencíendote,  
vencerás”.*

*A mis sobrinos:*

*Para quienes quiero llegar a  
ser ejemplo de superación y  
tengan una excelente  
perspectiva de mí.*

**Victor González Alfonso**

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

La Libertad, 27 de enero de 2022

Ing. Alejandro Veliz Aguayo, PhD.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema, **“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”**, Elaborado por los estudiantes **BASURTO BASURTO GREGORIO EFRAÍN** y **GONZÁLEZ ALFONZO VICTOR HUGO**, egresados de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio URKUND, luego de haber cumplido con los requisitos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 6% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud.

**TUTOR**

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo, PhD.**

**C.I: 0908182280**

## Document Information

---

Analyzed document	Tesis Nanosilice Basurto Gonzalez.docx (D126345514)
Submitted	2022-01-28T01:49:00.0000000
Submitted by	
Submitter email	victor.gonzalezalfonzo@upse.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	lmoreno.upse@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/460/T%20620.112%20E74%202014.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/460/T%20620.112%20E74%202014.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 2022-01-28T01:50:07.4770000	 1
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf">https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf</a> Fetched: 2022-01-28T01:50:00.0000000	 2
<b>W</b>	URL: <a href="https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/17355/Tema%2002_02.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/17355/Tema%2002_02.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a> Fetched: 2022-01-28T01:50:00.0000000	 4
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/196982409-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena.html">https://docplayer.es/196982409-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena.html</a> Fetched: 2021-01-23T09:12:54.9200000	 10
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/198163454-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-ciencias-de-la-ingenieria-escuela-de-ingenieria-carrera-de-ingenieria-civil.html">https://docplayer.es/198163454-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-ciencias-de-la-ingenieria-escuela-de-ingenieria-carrera-de-ingenieria-civil.html</a> Fetched: 2021-10-23T21:20:25.7630000	 15
<b>W</b>	URL: <a href="http://docplayer.es/192831809-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-de-ciencias-de-la-ingenieria-carrera-ingenieria-civil.html">http://docplayer.es/192831809-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-de-ciencias-de-la-ingenieria-carrera-ingenieria-civil.html</a> Fetched: 2021-01-22T22:27:14.5170000	 2

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **GREGORIO EFRAIN BASURTO BASURTO** y **VICTOR HUGO GONZALEZ ALFONZO**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“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”**, 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 cedemos 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,

**AUTORES**

f. 

**Basurto Basurto Gregorio Efraín.**

**Autor de Tesis.**

**C.I:2400271330**

f. 

**González Alfonso Víctor Hugo.**

**Autor de Tesis.**

**C.I:0921222907**



# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Alejandro Veliz Aguayo, PhD.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.**

**Universidad Estatal Península de Santa Elena**

En mi calidad de tutor del presente trabajo, “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”, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil Elaborado por el Sr. Basurto Basurto Gregorio Efraín y el Sr. González Alfonzo Victor Hugo, egresados de la carrera de Ingeniería Civil, 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**

f.  \_\_\_\_\_

**Ing. Alejandro Crisóstomo Véliz Aguayo, PhD.**

**Tutor**

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

*Magíster En Diseño Y Evaluación*

*De Modelos Educativos*

La Libertad, enero 24 de 2022.

### Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de Ingeniero Civil de **BASURTO BASURTO GREGORIO EFRAÍN y GONZÁLEZ ALFONZO VICTOR HUGO**, cuyo tema es: **"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."** 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 Herrera R, MSc.  
Docente de Español A: Literatura  
Cel: 0963143788  
e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecer a Dios por brindarnos sabiduría en el transcurso de la carrera universitaria.

Al Ingeniero Alejandro Véliz por ser nuestro docente tutor del trabajo de titulación compartiendo todos sus conocimientos.

A la Ingeniera Lucrecia Moreno por ser nuestra docente guía de la materia de titulación.

Al laboratorio INGEOTOP S.A. por brindarnos sus instalaciones para la elaboración de nuestros ensayos de laboratorio.

Al Ingeniero Felix Torres y laboratorista Roger Magallanes por la ayuda brindada en el desarrollo de nuestros ensayos.

A nuestros compañeros: D. Mendoza, R. Ortiz, A. Choez y J. Basurto por el apoyo incondicional mostrado en las prácticas de laboratorio.

A nuestra querida Universidad Estatal Península de Santa Elena por brindarnos la oportunidad de finalizar con éxitos nuestros estudios de tercer nivel.

A los Directivos y Docentes de la Carrera de Ingeniería Civil UPSE por compartir cada experiencia y conocimiento a lo largo de nuestra vida universitaria.

*Basurto G. y González V.*

A Dios por permitirme terminar esta nueva etapa, lograr un objetivo más en mis proyectos de vida.

A mi madre por brindarme ese abrazo en las malas, en las buenas y brindarme las facilidades económicas, morales y psicológicas para poder concentrarme en este pequeño lapso de tiempo en la universidad.

Al tutor PhD. Alejandro Véliz por compartir esta última etapa conmigo, colocando pensamientos en el salón de clases y como mentor de tesis, cosas que no se olvidan fácilmente.

A mis Hermanos que son parte de mi vida diaria dándome ese apoyo para continuar y seguir dando lo mejor de mí.

A mis amigos del Colegio Michael León, Anthony Pasquel mis brothers que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, tuvieron paciencia y entendieron que primero era la Universidad que una salida con ellos.

A mis, compañeros de clase y grandes amigos Andrés Gómez, Darwin Reyes, Christian Borbor, Paola González e Idania Mirley, que fueron mi grupo de trabajo en clases y el team con el cual pude superar esta etapa.

A los docentes que pusieron ese granito de conocimiento en mí, puliendo el profesional que quiero ser y dando ese pensamiento de buenas vibras siempre a pesar de las adversidades.

A mi colega, amigo, compañero de tesis y hermano de fútbol Víctor González por formar parte de este Team, destinado a grandes cosas y bendecido siempre por Dios.

***Gregorio Efraín Basurto.***

En primer lugar, agradecer a Dios por llenarme de sabiduría y darme fuerza en todos los momentos de mi carrera universitaria.

A mi abuela por ser la base fundamental a lo largo de toda mi vida.

A mis padres por su respaldo en todo momento, siendo los principales pilares para cumplir una de mis metas propuestas.

A mis hermanos por su cariño y afecto, quienes son el motivo para lograr grandes objetivos en mi vida.

A mi prometida M. Baque por su apoyo incondicional en todo el camino de la carrera universitaria.

Al Ingeniero Alejandro Véliz por ser el docente tutor y guía del presente trabajo de titulación compartiendo cada uno de sus conocimientos con nosotros.

A mi compañero de tesis y amigo de fórmulas Gregorio Basurto, por su confianza mostrada en el transcurso de la vida universitaria.

A mis grandes amigos del colegio y del fútbol que me han brindado su ayuda siempre.

*Victor González Alfonzo*

# TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO .....</b>	<b>v</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....</b>	<b>vii</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....</b>	<b>viii</b>
<b>CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA.....</b>	<b>ix</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>x</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xviii</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>xix</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xxii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxiv</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del Problema .....	2
1.2 Justificación.....	4
1.3 Alcance .....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	7
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	7
1.5 Hipótesis .....	8
1.6 Operacionalización de las Variables .....	8
1.6.1 <i>Variable Independiente</i> .....	8

1.6.2	<i>Variables Dependientes</i> .....	8
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....		<b>9</b>
2.1	Materiales .....	9
2.2	Hormigón.....	9
2.2.1	<i>Hormigón de Peso Normal</i> .....	10
2.2.2	<i>Hormigón Convencional</i> .....	14
2.2.3	<i>Hormigón Armado</i> .....	14
2.3	Componentes del Hormigón.....	15
2.3.1	<i>Cemento</i> .....	15
2.3.2	<i>Cemento Portland</i> . .....	16
2.3.4	<i>Cemento Hidráulico</i> . .....	19
b)	<i>Cemento Holcim Tipo GU</i> . .....	20
2.3.5	<i>Agua</i> . .....	22
2.3.6	<i>Aire</i> . .....	23
2.3.7	<i>Agregados (Áridos)</i> . .....	24
2.3.8	<i>Aditivos</i> .....	27
2.4	Propiedades Mecánicas del Hormigón .....	30
2.4.1	<i>Resistencia a la Compresión (<math>f'_c</math>)</i> .....	30
2.4.2	<i>Resistencia a la Fluencia</i> . .....	32
2.4.3	<i>Resistencias</i> . .....	32
2.5	Registro de Pruebas .....	34
2.6	Dosificación.....	34
2.7	Asentamiento (Revenimiento).....	35
2.8	Modelado Matemático .....	35
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....		<b>36</b>
3.1	Generalidades .....	36
3.2	Diseño Experimental. ....	36

3.3 Metodología del diseño .....	<b>37</b>
3.4. Ejecución, elaboración e identificación de las materias primas:.....	<b>38</b>
3.4.1 Agregados Finos y Gruesos (áridos). .....	38
a) Análisis Granulométrico – NTE INEN 696 .....	38
b) Análisis de absorción y densidad del agregado fino y grueso.....	44
3.4.2 Agregado fino – NTE INEN 856. ....	46
3.4.3 Determinación de contenido total de humedad NTE INEN 862.....	50
3.4.4 Cemento.....	52
3.4.5 Nanosílice .....	53
3.4.6 Agua .....	54
3.5 Elaboración de las probetas para las diferentes alternativas de diseño de hormigón .....	<b>54</b>
3.6 Ensayo de revenimiento del hormigón en estado fresco.....	<b>57</b>
3.7 Proceso de elaboración de los especímenes. ....	<b>59</b>
3.7.1 Ensayo de resistencia a la compresión .....	62
3.8 Modelo matemático.....	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	65
4.1.1 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Muestra de Control o Patrón.....</i>	65
4.1.2 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 0.5% .....</i>	66
4.1.3 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.0% .....</i>	67
4.1.4 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.5% .....</i>	68
4.1.5 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 2.0% .....</i>	69
4.1.6 <i>Análisis por porcentaje. Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	71
4.1.7 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días .....</i>	71
4.1.8 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días .....</i>	72
4.1.9 <i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días .....</i>	72



4.1.10	Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días .....	72
4.1.11	Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	73
4.2	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> .....	74
4.2.1	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> . Muestra de Control o Patrón .....	74
4.2.2	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 0.5% .....	75
4.2.3	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 1.0%.....	76
4.2.4	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 1.5% .....	77
4.2.5	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 2.0%.....	78
4.2.6	Análisis Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> .....	80
4.2.7	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> a los 3 días.....	80
4.2.8	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días.....	81
4.2.9	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> a los 14 días.....	81
4.2.10	Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días.....	81
4.2.11	Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm <sup>2</sup> .....	82
4.3	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> .....	83
4.3.1	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> . Muestra de Control o Patrón.....	83
4.3.2	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 0.5% .....	84
4.3.3	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 1.0% .....	85
4.3.4	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 1.5%.....	86
4.3.5	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> . Nanosílice al 2.0%.....	87
4.3.6	Análisis Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> .....	89
4.3.7	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> a los 3 días.....	89
4.3.8	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días .....	90
4.3.9	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> a los 14 días.....	90
4.3.10	Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días .....	90
4.3.11	Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm <sup>2</sup> .....	91
4.4	Análisis de Precio Unitario .....	92

4.4.1	<i>Análisis de precio unitario muestra de control de hormigón de 21MPa...</i>	93
4.4.2	<i>Análisis de precio unitario al 0.5% de nanosílice de un hormigón de 21MPa.....</i>	94
4.4.3	<i>Análisis de precio unitario al 1.0% de nanosílice de un hormigón de 21MPa.....</i>	95
4.4.4	<i>Análisis de precio unitario al 1.5% de nanosílice de un hormigón de 21MPa.....</i>	96
4.4.5	<i>Análisis de precio unitario al 2.0% de nanosílice de un hormigón de 21MPa.....</i>	97
	<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
5.1	Conclusiones .....	98
5.2	Recomendaciones .....	99
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>101</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1</i> Aditivo Aerosil® 200 .....	28
<i>Figura 2</i> Aerosil® 200 pesado al 1%.....	29
<i>Figura 3</i> Uso de basculas para peso de los agregados.....	55
<i>Figura 4</i> Colocación de materiales a la mezcladora. ....	55
<i>Figura 5</i> Vaciado de la mezcla a la carreta.....	56
<i>Figura 6</i> Obtención de mezcla de hormigón. ....	56
<i>Figura 7</i> Ensayo de revenimiento.....	58
<i>Figura 8</i> Asentamiento de hormigo de 28 MPa.....	58
<i>Figura 9</i> Mezcla y probetas para el hormigón.....	60
<i>Figura 10</i> Vaciado de Mezcla en probetas.....	60
<i>Figura 11</i> Vaciado por capa del hormigón. ....	60
<i>Figura 12</i> Varillado del hormigón. ....	60
<i>Figura 13</i> Golpes con martillo de goma. ....	60
<i>Figura 14</i> Enrazado de mezcla sobrante.....	60
<i>Figura 15</i> Desencofrado a las 24 horas. ....	61
<i>Figura 16</i> Curado de las probetas. ....	61
<i>Figura 17</i> Ensayo de cono de Abrams.....	61
<i>Figura 18</i> Ensayo para medir asentamiento .....	61
<i>Figura 19:</i> Medición de Revenimiento en el hormigón diseñado.....	61
<i>Figura 20</i> Prensa hidráulica, ensayos de resistencia a compresión.....	62
<i>Figura 21</i> Probeta lista para ensayo.....	62
<i>Figura 22</i> Ensayo a compresión.....	63
<i>Figura 23</i> Rotura de especímenes. ....	63
<i>Figura 24</i> Análisis de la rotura de los cilindros. ....	63

# LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<i>Tabla 1 Límite para sustancias deletéreas en agregados finos para concreto .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2 Análisis de Tamizado. Agregado Fino .....</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3 Requerimientos de Tamizado en Agregados Gruesos .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 4 Límites para sustancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los agregados gruesos para concreto .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 5 Tipos de Cementos Portland .....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 6 Requisitos físicos normalizados del cemento .....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 7 Relación agua/cemento en la resistencia del cemento .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 8 Análisis granulométrico del árido grueso .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 9 Análisis granulométrico del árido fino.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 10 Tipos de aditivos.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 11 Porcentajes de hidratación del cemento con y sin nanosílice.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 12 Características típicas químicas del Aerosil® 200.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 13 Requisitos de resistencia a compresión cuando se disponen de datos históricos de producción.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 14 Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 15 Requisitos de resistencia a la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 16 Precisión en el método de ensayo del asentamiento .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 17 Tipo de hormigón y su porcentaje con nanosílice.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 18 Distribución granulométrica de los agregados gruesos .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 19 Distribución granulométrica de agregado fino.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 20 Determinación de densidades y porcentajes de absorción del agregado grueso.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 21 Determinación de densidades y porcentaje de absorción del agregado fino .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 22 Determinación del contenido total de humedad del agregado grueso.....</i>	<i>51</i>

<b>Tabla 23</b>	<i>Determinación del contenido de humedad del agregado fino.....</i>	51
<b>Tabla 24</b>	<i>Análisis químicos del cemento.....</i>	52
<b>Tabla 25</b>	<i>Composición del cemento.....</i>	52
<b>Tabla 26</b>	<i>Análisis Físicos del cemento.....</i>	53
<b>Tabla 27</b>	<i>Requisitos de los componentes minerales .....</i>	53
<b>Tabla 28</b>	<i>Porcentajes de hidratación del cemento con y sin nanosílice.....</i>	54
<b>Tabla 29</b>	<i>Características típicas químicas del Aerosil® 200.....</i>	54
<b>Tabla 30</b>	<i>Dosificación para hormigón de 28MPa resistencia de diseño. ....</i>	56
<b>Tabla 31</b>	<i>Dosificación para hormigón de 24MPa resistencia de diseño. ....</i>	56
<b>Tabla 32</b>	<i>Dosificación para hormigón de 21MPa resistencia de diseño. ....</i>	57
<b>Tabla 33</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> Patrón .....</i>	65
<b>Tabla 34</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 0.5% .....</i>	66
<b>Tabla 35</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1% .....</i>	67
<b>Tabla 36</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5%.....</i>	68
<b>Tabla 37</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0% .....</i>	69
<b>Tabla 38</b>	<i>Resistencia a los 3 días <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	71
<b>Tabla 39</b>	<i>Resistencia a los 7 días <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	72
<b>Tabla 40</b>	<i>Resistencia a los 14 días <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	72
<b>Tabla 41</b>	<i>Resistencia a los 28 días <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	72
<b>Tabla 42</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> Patrón .....</i>	74
<b>Tabla 43</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 0.5 % .....</i>	75
<b>Tabla 44</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.0% .....</i>	76
<b>Tabla 45</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5% .....</i>	77
<b>Tabla 46</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0% .....</i>	78
<b>Tabla 47</b>	<i>Resistencia a los 3 días <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	80
<b>Tabla 48</b>	<i>Resistencia a los 7 días <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	81
<b>Tabla 49</b>	<i>Resistencia a los 14 días <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	81
<b>Tabla 50</b>	<i>Resistencia a los 28 días <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	81
<b>Tabla 51</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> Patrón.....</i>	83
<b>Tabla 52</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 0.5%.....</i>	84
<b>Tabla 53</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.0%.....</i>	85
<b>Tabla 54</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5%.....</i>	86
<b>Tabla 55</b>	<i>Dosificación <math>f'_c</math> 280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0%.....</i>	87
<b>Tabla 56</b>	<i>Resistencia a los 3 días <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	89

<b>Tabla 57 Resistencia a los 7 días <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 58 Resistencia a los 14 días <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 59 Resistencia a los 28 días <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 60 Análisis de precio Unitario de 21MPa .....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 61 Análisis de precio Unitario de 21MPa al 0.5% de nanosílice .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 62 Análisis de precio Unitario de 21MPa al 1.0% de nanosílice .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 63 Análisis de precio Unitario de 21MPa al 1.5% de nanosílice .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 64 Análisis de precio Unitario de 21MPa al 2.0% de nanosílice .....</b>	<b>97</b>

# LISTA DE GRÁFICOS

	<b>Pág.</b>
<i>Gráfico 1 Curva Granulométrica de agregado Grueso .....</i>	<i>42</i>
<i>Gráfico 2 Distribución granulométrica de agregado fino.....</i>	<i>43</i>
<i>Gráfico 3 Representación de la gráfica de diseño de hormigón <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	<i>70</i>
<i>Gráfico 4 Dosificación <math>f'_c</math> 210 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas.....</i>	<i>73</i>
<i>Gráfico 5 Representación gráfica de diseño de hormigón <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	<i>79</i>
<i>Gráfico 6 Dosificación <math>f'_c</math> 240 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas .....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 7 Representación gráfica de diseño de hormigón <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> .....</i>	<i>88</i>
<i>Gráfico 8 Dosificación <math>f'_c</math> 280 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas .....</i>	<i>91</i>

# RESUMEN

**TITULO:** “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”

**Autores:** Basurto Basurto Gregorio Efraín.

González Alfonzo Victor Hugo.

**Tutor:** Ing. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo, PhD

La búsqueda de mejorar los hormigones de uso convencional en el área de ingeniería es una envergadura principal para los ingenieros, la investigación en la implementación de nanosílice en los diseños de hormigón brinda un incremento en las propiedades mecánicas en los hormigones con diseño de mezclas de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup> a porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5%; en el 2.0% decaen las resistencias. El diseño experimental usado en la investigación como parte de la metodología en obtención de los ensayos del experimento, con la metodología estadística se realizó el análisis de resultados mediante el uso de la varianza para observar con mayor precisión si existe un crecimiento dentro del experimento, como principales resultados en los hormigones de prueba existe un incremento de 13.33% al 0.5% de Nano-SiO<sub>2</sub>, 11.77% al 1.5% de Nano-SiO<sub>2</sub>, 3.90% al 1.0% de Nano-SiO<sub>2</sub> y la resistencia cae 45.06% al 2.0% de NanoSiO<sub>2</sub>. El modelo matemático ejecutado sirve para determinar y predecir el comportamiento en un determinado punto, respecto a la relación cemento y nanosílice. En evaluación se recomienda el estudio del 0.6% al 1.4% de nanosílice por una distorsión de resultados en ese rango mencionado.

**Palabras claves:** Hormigón Convencional, Nanosílice, Resistencias, Modelo Matemático.



# ABSTRACT

**TITLE:** "IMPLEMENTATION OF NANO-SiO<sub>2</sub> TO IMPROVE THE MECHANICAL PROPERTIES OF A CONVENTIONAL CONCRETE WITH TYPE I PORTLAND CEMENT APPLIED IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN THE CANTONS OF SANTA ELENA, LA LIBERTAD, AND SALINAS, PROVINCE OF SANTA ELENA."

**Authors:** Basurto Basurto Gregorio Efraín.

González Alfonso Victor Hugo.

**Academic Advisor:** PhD. Véliz Aguayo Alejandro Crisóstomo.

The search to improve concrete for conventional use in the engineering area is a major concern for engineers, research in the implementation of nanosilica in concrete designs provides an increase in the mechanical properties in concrete with a mix design of 210 Kg/cm<sup>2</sup>, 240 Kg/cm<sup>2</sup> and 280 Kg/cm<sup>2</sup> at percentages of 0.5%, 1.0 %, and 1.5%; in 2.0% the resistances decay, the experimental design used in the research as part of the methodology in obtaining the tests of the experiment, with the statistical methodology the analysis of results was carried out by using the variance to observe with greater precision if there is a growth within the experiment, as main results in the test concrete there is an increase of 13.33% to 0.5% of Nano-SiO<sub>2</sub>, 11.77% at 1.5% Nano-SiO<sub>2</sub>, 3.90% at 1.0% Nano-SiO<sub>2</sub> and the strength drops 45.06% at 2.0% Nano-SiO<sub>2</sub>. The executed mathematical model serves to determine and predict the behavior at a certain point, concerning the cement and nanosilica ratio. In evaluation, 0.6% and 1.4% of nanosilica is recommended for a study of distortion of results in that mentioned range.

**Keywords:** Conventional Concrete, Nanosilica, Resistance, Mathematical Model.

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

El avance de la nanotecnología está llegando muy rápido a grandes campos en la industria de la construcción, con la creación de nuevos compuestos que mejoran elementos estructurales, ayudando así a fortalecer el entorno del ser humano. Esto enfocándonos en la parte micro y nano moléculas que adheridas al compuesto del hormigón en el área de ingeniería civil dan realce a mejoras en el ámbito cotidiano.

Según (Guerrini & Corazza, 2008) “la nanotecnología tiene un gran alcance pudiendo mejorar las propiedades mecánicas principales de los materiales de construcción tradicionales más comunes (ej.; el hormigón)”, esto afirmando lo mencionado por (Aramayo et al., 2014) “los materiales nano-estructurados representan la aplicación de las nanotecnologías en el campo de la ingeniería y ciencia de materiales y tendrá un gran impacto en varios sectores económicos como la electrónica, los transportes, el medioambiente y, por supuesto, la construcción”.

El desempeño principal de incorporar nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>), es mejorar las propiedades mecánicas del hormigón tradicional, trabajando con el agregado independiente con porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%, estos porcentajes trabajaran en relación al agregado dependiente (cemento portland tipo I de uso común), en los diseños de hormigón con las dosificaciones de  $210 \left( \frac{Kg}{cm^2} \right)$ ,  $240 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$  y  $280 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$  usadas en estructuras de hormigón armado en las diferentes construcciones de los cantones de la provincia de Santa Elena.

Para el estudio de esta implementación se tiene como propósito crear un modelo matemático, que nos permita encontrar la relación óptima entre el cemento y la aplicación del nanosílice manteniendo el control del uso de la variable independiente (Nano-SiO<sub>2</sub>), (Montgomery, 2004) plantea una estrategia de experimentación muy común en la práctica que es el enfoque de un factor a la vez. Este método consiste en seleccionar un punto de partida, o línea base de los niveles, para cada factor, para después variar sucesivamente cada factor en su rango, manteniendo constantes los factores restantes en el nivel base. Después de haber realizado todas las pruebas, se

construye por lo general una serie de gráficas en las que se muestra la forma en que la variable de respuesta es afectada al variar cada factor manteniendo los demás factores constantes.

Con finalidad de mantener el área de la investigación activa se concebirá un artículo científico, que va orientado en el área de la tecnología del hormigón derivándose esta en la nanotecnología en la industria constructiva, siendo este caso la aplicación de nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>) en los hormigones tradicionales. Empleando las palabras de Gustavo Cáceres Castellano, “La divulgación de la investigación científica, mediante artículos, ponencias y conferencias, entre otros mecanismos, es esencial, pues, como comúnmente se reconoce, investigación que no se publica no existe” (Castellanos, 2014).

Adicionalmente la respectiva investigación sobre mejorar las propiedades del hormigón con nanosílice, se trabajó con ensayos de compresión creando las respectivas roturas con muestras de control de 0.04900691 m<sup>3</sup>, para la determinación de los valores estándar.

Desde el punto de vista de Arellano, et al (2018) “La implementación de nanosílice crea plastificantes y superplastificantes, revolucionando el mercado debido a reducir agregados en el hormigón siendo beneficioso los aditivos ya mencionados y con ello al incremento de resistencia no se verá afectada la trabajabilidad de las mezclas”.

## **1.1 Planteamiento del Problema**

La necesidad de encontrar hormigones de alto desempeño (HPC), que obtengan y alcancen mayores prestaciones, mejorar la durabilidad, trabajabilidad y la resistencia a la compresión de los hormigones, actualmente utilizados en las estructuras de hormigón armado dentro de los tres cantones de la provincia de Santa Elena. Se plantean varias hipótesis como menciona (Yépez y Calderón, 2014) “la investigación toma en cuenta consideraciones económicas, así como disponibilidad de los materiales en el mercado local y relación resistencia/costo del producto final”. Para estos fines, se desarrollaron varios diseños de mezclas distintas utilizando el aditivo nanosílice conforme al método de diseño de hormigón del ACI-211.1.

Los HPC son de vital importancia para construcciones especiales, al ser este una de las mejoras que ha experimentado el hormigón convencional, hace posible la construcción de estructuras cada vez más esbeltas, que permiten reducir las secciones de elementos estructurales, para así tener mayor espacio disponible dentro de las edificaciones cuyas características han contribuido a superar retos hasta ahora complejo (Alvansazyazdi, et al, 2021).

Como señala Cuevas Diaz Jesús en los estudios se describen las características de los materiales base para la elaboración de hormigones estructurales a nivel mundial. El bajo control de calidad de los materiales en el origen conlleva a una falta de homogeneidad en las propiedades de los mismos, no cumpliendo en muchos casos con las especificaciones del producto ni con las normativas existentes a nivel de cada continente a aplicar. Los cambios térmicos debidos al clima de cada zona dificultan la elaboración de hormigones (Cuevas Diaz, 2012).

En todos los países del mundo existen problemas con la producción de hormigones convencionales, estos deben de tener una resistencia que vaya incrementando en un determinado tiempo. Howland y Morejón analizan que: “los métodos de ajuste de las dosificaciones por la humedad total de los áridos finos y gruesos en el proceso de preparación de mezclas de hormigón, ha demostrado ser efectivo en garantizar producir hormigones con propiedades constantes” (Howland Albear & Morejon Gonzalez, 2010).

Dentro de Latinoamérica la creación de hormigones de alta resistencia en estructuras de hormigón armado se da por la alta demanda sísmica, tomando en cuenta que el país se encuentra en una zona con altas demandas de movimientos telúricos necesitando mezclas de hormigón con excelentes propiedades mecánicas, al tener los hormigones de alto rendimiento (HPC) se pueden mejorar las infraestructuras.

(Girón et al., 2012) describe lo siguiente acerca de la implementación de nanosílice en hormigones; “la nanotecnología, está aportando mejoras significativas en la construcción de edificaciones, autopistas y puentes mediante la aplicación de materiales y maquinarias producidos a partir del reordenamiento de átomos y moléculas, con nuevas propiedades únicas y bajo costo”.

Ecuador, país que está innovando, sumergiéndose en la nanotecnología. En el área de la construcción, encuentra como alternativa mejorar las infraestructuras a nivel nacional, empezando por analizar estudios en el hormigón inculcándose en mejorar las propiedades mecánicas desarrollando nuevos hormigones eco-amigable.

Para esto Prudente María argumenta “Los recursos en la corteza terrestre están agotándose, pero debemos trabajar con Cemento Portland, por tanto, para la reducción de las emisiones del CO<sub>2</sub>, la mejora apropiada se encuentra en reducir el Clinker mediante el uso de materiales cementicios suplementarios”, Prudente, et al, (2019).

En años recientes, dentro de la Provincia de Santa Elena se ha presentado un interés creciente por los hormigones de alta resistencia. Aunque la definición exacta es arbitraria en mejorar las propiedades mecánicas de los hormigones convencionales en las dosificaciones de: 210 Kg/cm<sup>2</sup>, 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup> usadas en la elaboración de estructuras dentro de la provincia, el término se refiere a hormigones con resistencias a la compresión uniaxial en el rango de 6000*Psi* [421.842 MPa ] a 12,000 *Psi* [843.684 MPa ] o más.

Estos hormigones pueden fabricarse utilizando cementos, arena y piedras cuidadosamente seleccionadas, pero por lo general disponibles; algunos aditivos, incluyendo cenizas volantes y Nanosílice. Además de un control de calidad muy selectivo durante la producción, para lograr una mayor resistencia a la compresión, se mejorarán casi todas las demás propiedades mecánicas, lo que lleva a la utilización del término alternativo, hormigón de alto desempeño (Darwin, Dolan, & Nilson, 2010, 2004.).

## **1.2 Justificación**

El presente trabajo de investigación permitirá obtener datos experimentales de ensayos, trabajando con probetas que permitan tener los respectivos valores para los diferentes tipos de diseño de mezclas de hormigón convencional con adición de nanosílice, en relación con la resistencia a compresión de las estructuras de hormigón armado.

Este nuevo programa experimental que se obtendrá con el desarrollo de la investigación puede servir de guía para futuros ensayos de laboratorios y a su vez para proyectos de investigación. La zona donde se la ejecuta es el área que no es de contacto directo con los agregados, de tal modo que un correcto estudio de estos agregados será determinante en el descubrimiento de un hormigón mejorado con un porcentaje óptimo de la adición de nanosílice.

En la actualidad no se hace uso de este tipo de aditivo para hormigones (nanosílice) Nano-SiO<sub>2</sub> dentro de la provincia de Santa Elena. En el área de la construcción es más frecuente el uso de aditivos de las distintas empresas dentro de la región, es por ello por lo que surge la necesidad de utilizar nuevas variantes en obras de ingeniería, específicamente en el área estructural, y como primer principio es incrementar la resistencia a la compresión del hormigón implementando Nano-SiO<sub>2</sub>.

El modelo matemático ayudará a determinar de alguna manera las dosificaciones de los diseños de hormigón a su vez que mejoren la propiedad de la resistencia a la compresión con más precisión y económicamente, la elaboración de hormigones con diseño de mezclas utilizadas con mayor frecuencia en la provincia de Santa Elena alcanza las resistencias a compresión de: 210 Kg/cm<sup>2</sup>, 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 Kg/cm<sup>2</sup>, utilizando cemento portland tipo I, agregado grueso y una menor cantidad de agregado fino. En estos diseños se implementará la adición del aditivo nanosílice en un 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%.

Actualmente, en nuestra provincia de Santa Elena gran parte de las canteras de agregados muestran indicios desfavorables que presentan los hormigones elaborados con estos agregados dentro de la provincia, en ese contexto con visión hacia el futuro, se plantea el uso de nanosílice como una alternativa de solución para este tipo de hormigón, y como primer principio es incrementar la resistencia a compresión del hormigón convencional.

La investigación se justifica en cuanto a la variación de costo/resistencia; mejoras en sus propiedades mecánicas (específicamente la resistencia a la compresión del hormigón) y la importancia de la utilización de nuevas variantes de “hormigón empleando agregados gruesos y finos con adición de nanosílice”.

El presente proyecto de investigación es viable porque existe una alta demanda de los diferentes tipos de agregados ya sean finos o gruesos más los aditivos para diseñar hormigones con mejoras en sus propiedades mecánicas siendo el caso de este la resistencia a la compresión, además se cuenta con empresas que pueden dotar esta variable como un tipo de aditivo para hormigones a bajo costo comprando al por mayor, a su vez se efectúan pruebas y ensayos de laboratorio para obtener datos exactos con valores reales.

### **1.3 Alcance**

Este estudio está orientado fundamentalmente a la caracterización de hormigones convencionales alcanzando altas resistencias gracias a la adición de productos altamente reactivos que cambian radicalmente sus propiedades. (ACI CT-18 ACI Concrete Terminology, 2018) indica que los aditivos “son una sustancia agregada a otra en cantidades relativamente pequeñas para mejorar las propiedades deseables o suprimir las propiedades indeseables”.

No se consideran ensayos que permitan evaluar la tensión, durabilidad, impermeabilidad, contenido de aire y retracción hidráulica que definen y son características importantes también al hormigón. Esto se debe a la ausencia de las herramientas y elementos que permitan determinar estas propiedades, no se analiza la corrosión ni los ataques de otras sustancias químicas destructivas en el caso de obtener un hormigón de alta resistencia que pueda armarse para ser empleado en construcciones.

La influencia de las nanopartículas de sílice en el hormigón frente a la acción de agentes que afectan la durabilidad de éste, es determinada para hormigón de tres especificaciones descritas en este trabajo, con diferentes adiciones de nanosílice en porcentaje en relación al peso del cemento: 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5%, 2.0%.

Por lo tanto, los resultados obtenidos y su análisis son válidos para el tipo de hormigón que se someterá al adicionar nanosílice como aditivo, correspondiente a un agente químicamente agresivo con solución de sulfato de sodio de concertación también especificada.

## **1.4 Objetivos**

Para dar cumplimiento al trabajo de investigación se desarrollan los siguientes objetivos, generales y específicos.

### ***1.4.1 Objetivo General***

Analizar el proceder de las propiedades mecánicas a compresión de un diseño de hormigón convencional con cemento Portland de uso general (GU), implementando nanosílice en pequeños porcentajes con respecto al agregado del cemento.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

1. Obtener las resistencias a compresión del hormigón convencional con porcentajes pequeños de nanosílice al 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%, relación de agregado al porcentaje de cemento en cada dosificación de diseño del hormigón.
2. Evaluar los resultados obtenidos de los ensayos a hormigones de altas prestaciones en relación con las propiedades mecánicas, siendo la principal la resistencia a la compresión.
3. Obtener un modelo matemático que satisfaga las condiciones de un diseño de hormigón resistente y aleado con los agregados, considerando un aporte al área de la construcción, en los aspectos de resistencias en columnas de las estructuras de hormigón armado, teniendo innovación y eficiencia del nuevo ligante utilizado en el hormigón.
4. Evaluación del precio unitario en costo-fabricación del hormigón, en su respectiva muestra de control y en la implementación de nanosílice al 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% aplicados a las resistencias de diseño de 21MPa, 240 MPa y 280 MPa.



## **1.5 Hipótesis**

En el estudio de los materiales, la sílice es un complemento que aporta grandes propiedades al hormigón, pero entrando al espacio de lo micro y nano surge la idea de implementar pequeñas moléculas de sílice a la mezcla de hormigón y revisar sus efectos producidos en la resistencia a la compresión, siendo esta la principal propiedad mecánica dentro de las estructuras de hormigón.

Según (Mondal, P. 2008) “la caracterización de las propiedades a micro y nano escala de materiales cementosos causaran efectos positivos como lo revela el uso de diversas técnicas de imagen, porcentaje y evaluación de la mecánica de las propiedades del cemento”.

## **1.6 Operacionalización de las Variables**

### ***1.6.1 Variable Independiente***

Nanopartículas de sílice (nanosílice o Nano-SiO<sub>2</sub>) en porcentajes pequeño agregados al hormigón.

### ***1.6.2 Variables Dependientes***

Propiedades mecánicas del hormigón convencional con cemento portland Tipo I. Resistencia a la compresión del hormigón f'c.

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1 Materiales

Para la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015, p. 25) un material de construcción es cualquier producto procesado o fabricado destinado a ser incorporado con carácter permanente en cualquier obra, sea de edificación o de ingeniería civil. De manera general, los materiales de construcción deberán cumplir los siguientes requisitos:

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

## 2.2 Hormigón

La Norma Ecuatoriana de la Construcción código NEC-SE-HM, define al hormigón como “una mezcla de cemento portland u otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos” (NEC, 2015, p. 11).

Para (Ortiz Francisco, s.f., p. 4; Romo, 2008, p. 7) el hormigón “es una piedra artificial formada al mezclar apropiadamente componentes básicos: cemento, arena, grava y agua. Sus propiedades dependen de: la calidad y componentes de la mezcla, como de las condiciones de humedad y temperatura durante su fabricación y curado”.

Hormigón es el producto de la mezcla de: cemento hidráulico, agua, aire más el agregado grueso (piedras  $\frac{3}{4}$ ), y agregado fino (arena); a la que le podemos adicionar o

no, aditivos (acelerantes y retardantes de fraguado, superplastificantes, reductores de agua, líquidos, etc.), para mejorar las propiedades físicas, químicas o mecánicas.

### 2.2.1 Hormigón de Peso Normal

Según (NEC, 2015, p. 11) el hormigón de peso normal es un “hormigón que contiene agregados que cumplen con lo especificado en ASTM C33”.

(ASTM C33-03, 2003.) es una “especificación 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 para sustancias deletéreas en agregados finos para concreto, la (**Tabla 4**) es la continuación de la (**Tabla 1**) y mostrará los límites para sustancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los agregados gruesos para concreto. La (**Tabla 2**) muestra el análisis de tamizado para el agregado fino, mientras que la (**Tabla 3**) detalla los requerimientos de tamizado en agregados gruesos.

**Tabla 1**

*Límite para sustancias deletéreas en agregados finos para concreto*

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

<sup>A</sup> En el caso de la arena manufacturada, si el material más fino de los 75µm (Tamiz No. 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 C33-03, 2003, p. 6).

**“Agregado Fino y Tamizado:** El agregado fino consistirá de 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 C33-03, 2003, p. 8).

**Tabla 2**  
*Análisis de Tamizado. Agregado Fino*

<b>Tamiz (Especificación E 11)</b>	<b>Porcentaje Pasando (%)</b>
<b>9.5 mm (3/8 in)</b>	100
<b>4.75 mm (No. 4)</b>	95 a 100
<b>2.36 mm (No. 8)</b>	80 a 100
<b>1.18 mm (No. 16)</b>	50 a 85
<b>600µm (No. 30)</b>	25 a 60
<b>300 µm (No. 50)</b>	5 a 30
<b>150 µm (No. 100)</b>	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 el análisis de tamizado para los agregados finos del concreto (ASTM C33-03, 2003, p. 8).

- a. El agregado fino no deberá tener más del 45% pasando algún tamiz y el retenido en el tamiz siguiente consecutivo de ese mostrada en la tabla 2, y su módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 (2003, p. 8).
  
- b. El agregado fino que falle en cumplir estos requerimientos de granulometría deberá de cumplir los requerimientos de esta sección siempre que el suministrante demuestre al comprador o especificador que el concreto de la clase especificada, hecho con agregado fino en consideración, tendrá propiedades relevantes o al menos igual al concreto hecho con los mismos ingredientes, con la excepción de la referencia de agregado fino, será seleccionado de una fuente que tenga un registro de desempeño aceptable en un concreto de construcción similar (2003, p. 8).

**“Agregado Grueso y Tamizado:** El agregado grueso 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 C33-03, 2003, p. 12).

**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 mm.	90 mm.	75 mm.	63 mm.	50 mm.	37.5 mm.	25 mm.	19 mm.	12.5 mm.	9.5 mm.	4.75 mm.	2.36 mm.	1.18 mm.	
		4 pulg.	3 ½ pulg.	3 pulg.	2 ½ pulg.	2 pulg.	1 ½ pulg.	1 pulg.	¾ pulg.	½ pulg.	3/8 pulg.	No. 4	No. 8	No. 16	
<b>1</b>	90 a 37.5 mm.	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
<b>2</b>	63 a 37.5 mm.	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
<b>3</b>	50 a 25 mm.	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	
<b>357</b>	50 a 4.75 mm.	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	
<b>4</b>	37.5 a 19 mm.	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	
<b>467</b>	37.5 a 4.75 mm.	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	
<b>5</b>	15 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 40	0 a 5	...	...	...	
<b>56</b>	25 a 9.5 mm.	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	
<b>57</b>	25 a 4.75 mm.	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	
<b>6</b>	19 a 9.5 mm.	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	
<b>67</b>	19 a 4.75 mm.	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	
<b>7</b>	12.5 a 4.745 mm.	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	
<b>8</b>	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 C33-03, 2003, p. 7).

**Tabla 4**

*Límites para sustancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los agregados gruesos para concreto*

DESIGNACIÓN DE LA CLASE	TIPO DE LOCALICACIÓN DEL CONCRETO DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO PERMISIBLE (%)						
		Terrones de arcilla y partículas quebradizas	Chert <sup>C</sup> (menor del 2.4% sp gr SSD)	Suma de terrones de arcilla, partículas quebradizas y Chert (menor de 2.4% sp gr SSD) <sup>C</sup>	Material más fino 75 $\mu$ m (Tamiz No. 200)	Carbón y Lignito	Abrasión <sup>A</sup>	Expansión por sulfato de Magnesio (5 ciclos) <sup>B</sup>
<b>Región de Temperización Severa</b>								
<b>1S</b>	Fundaciones, columnas y vigas no expuestas al clima, lozas interiores cubiertas	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	1.0	50	...
<b>2S</b>	Pisos interiores sin cubierta	5.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
<b>3S</b>	Paredes e fundación de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>4S</b>	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garage, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente	3.0	5.0	7.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>5S</b>	Concreto Arquitectural expuesto				1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>Región de Temperización Severa</b>								
<b>1M</b>	Fundaciones, columnas, y vigas no expuestas al clima lozas interiores cubiertas	2.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
<b>2M</b>	Pisos interiores sin cubierta	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
<b>3M</b>	Paredes e fundación de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización	5.0	8.0	10.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>4M</b>	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garage, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>5M</b>	Concreto Arquitectural expuesto	3.0	3.0	5.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
<b>Región de Temperización Despreciable</b>								
<b>1N</b>	Losas sujetas a tráfico abrasivo, puentes, pisos, pavimentos	5.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
<b>2N</b>	Otras clases de concreto	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	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 C33-03, 2003, p. 11)

### ***2.2.2 Hormigón Convencional***

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1762 menciona lo siguiente del hormigón convencional, “material compuesto que consiste esencialmente en un medio aglutinante en el que se incrustan partículas y fragmentos de agregados. En hormigón de cemento hidráulico, el aglomerante está compuesto por una mezcla de cemento hidráulico y agua” (NTE INEN 1762, 2015, p. 5).

El hormigón convencional es el utilizado habitualmente en la ejecución de cualquier tipo de estructura, bien sea de obra civil o de edificación. Son diseñados gravimétricamente, las cantidades de sus materiales que los componen: cemento, agregado grueso, agregado fino y aditivos son dosificados por peso; el agua es dosificada por volumen.

### ***2.2.3 Hormigón Armado***

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762, 2015, p. 4) define al hormigón armado como, “material compuesto de hormigón y varillas de refuerzo, generalmente de acero, dispuestas para asegurar su acción de unión”. Por su parte (Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica, 2007, p. 87) menciona lo siguiente acerca del hormigón armado, “es el resultado de la combinación adecuada de hormigón fresco y refuerzos pasivos de acero para crear elementos que resisten los efectos de los esfuerzos de compresión y tracción. Estos elementos se adquieren tanto en campo como en fábrica (prefabricados)”.

Para (Moskoluk & González, 2017, p. 16) el hormigón armado es un material de construcción que combina las características del hormigón simple y las barras de refuerzo (varillas de acero). Para que se produzca este trabajo integrado entre estos dos elementos, ambos materiales base deben estar directamente conectados entre sí e interactuar a través de las fuerzas adhesivas generadas en las superficies de contacto. Para mejorar la adherencia, la superficie del acero debe ser rugosa, por lo que es necesario usar barras de acero corrugado, vértelas en el encofrado y luego vibrar el concreto.

## **2.3 Componentes del Hormigón**

Para (Bañón Luis, 2010, p. 4; WICITEC, 2013) “el hormigón es una piedra artificial que se obtiene mezclando aglomerante hidráulico, cemento, áridos, y agua en una determinada proporción. Finalmente, se añaden aditivos y adiciones que mejoran o modifican algunas de sus propiedades”.

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 (Cargua & Cruz, 2017).

Es por ello por lo que, el agua y cemento se destacan como los elementos más importantes, pues originan la reacción química y producen un compuesto que se solidifica con el paso del tiempo, mientras que la función del agregado grueso y fino como elementos pasivos, es concederle resistencia y volumen al hormigón.

### **2.3.1 Cemento.**

Según Portland Cement Association (PCA, 2019) los materiales comunes utilizados para fabricar cemento incluyen piedra caliza, conchas y tiza o marga combinados con esquistos, arcilla, pizarra, escoria de alto horno, arena de sílice y mineral de hierro. Estos elementos, cuando se calientan a altas temperaturas, forman una sustancia parecida a una roca que se muele en el polvo fino que comúnmente consideramos cemento.

Para (WICITEC, 2013) los cementos hidráulicos son aquellos que tienen la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, porque reaccionan químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes. El tipo de cemento más usado para estructuras es el cemento Portland tipo I. La cantidad de cemento en una mezcla de hormigón es directamente proporcional a su resistencia, es decir, que mientras mayor es la cantidad de cemento usado, mayor es la resistencia del hormigón que se obtiene y viceversa.



Para (CEMEX, 2020) el cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de la calcinación es el clínker, que es el principal elemento del cemento, el mismo que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento. El cemento es el material de construcción más utilizado a nivel mundial. Aporta propiedades útiles y deseables, tales como, resistencia a la compresión, durabilidad y estética para una diversidad de aplicaciones en construcción.

### ***2.3.2 Cemento Portland.***

El cemento Portland es el componente básico del hormigón. El hormigón se forma cuando el cemento portland crea una pasta con agua que se une a la arena y la piedra para endurecerse. El cemento se fabrica mediante una combinación química estrechamente controlada de calcio, silicio, aluminio, hierro y otros elementos. El albañil Joseph Aspdin de Leeds, Inglaterra, fabricó por primera vez cemento Portland a principios del siglo XIX quemando piedra caliza y arcilla en polvo en la estufa de su cocina. Con este método rudimentario, sentó las bases de una industria que procesa anualmente montañas de roca caliza, arcilla, piedra de cemento y otros materiales en un polvo tan fino que pasará a través de un tamiz número 200 de la norma ASTM capaz de contener agua. (PCA, 2019).

Los laboratorios de las plantas de cemento controlan cada paso en la fabricación de cemento Portland mediante frecuente pruebas químicas y físicas; también analizan y prueban el producto terminado para asegurarse de que cumpla con todas las especificaciones técnicas de la industria para así asegurar la calidad de sus productos y sigan fortaleciendo la relación entre los usuarios y respectivos creadores del producto. La forma más común de fabricar cemento portland es a través de un método seco. El primer paso es extraer las principales materias primas, principalmente calizas, arcillas y otros materiales. Después de la extracción, la roca se tritura. Esto implica varias etapas. La primera trituración reduce la roca a un tamaño máximo de unas 6 pulgadas. (PCA, 2019).

En la **Tabla 5** se detallarán los tipos de cemento Portland.

**Tabla 5**  
*Tipos de Cementos Portland*

	TIPO	DESCRIPCIÓN	NORMA	
			INEN	ASTM
<b>PUROS</b>	I	Uso común	152	C 150
	II	Moderada resistencia a sulfatos Moderado calor de hidratación	152	C 150
	III	Elevada resistencia inicial	152	C 150
	IV	Bajo calor de hidratación	152	C 150
	V	Alta resistencia a la acción de sulfatos	152	C 150
Los tipos IA, IIA y IIIA incluyen incorporador de aire				
<b>COMPUESTOS</b>	IS	Portland con escoria de altos hornos	490	C 595
	IP	Portland puzolánico	490	C 595
	P	Portland puzolánico (cuando no se requieren resistencias iniciales altas)	490	C 595
	I (PM)	Portland puzolánico modificado	490	C 595
	I (SM)	Portland con escoria modificado	490	C 595
	S	Cemento de escoria	490	C 595
<b>POR DESEMPEÑO</b>	GU	Uso en construcción general	2380	C 1157
	HE	Elevada resistencia inicial	2380	C 1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos	2380	C 1157
	MH	Moderado calor de hidratación	2380	C1157
	LH	Bajo calor de hidratación	2380	C 1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con árido alcali-reactivos				

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

### ***2.3.3 Fabricación del Cemento Portland.***

Para (PCA, 2019) la forma más habitual de fabricar cemento Portland es mediante la utilización de un método seco a continuación se especificará dichos pasos. El primer paso es extraer las principales materias primas, principalmente la piedra caliza, la arcilla y otros materiales. Después de extraer la piedra se tritura, esto implica varias etapas a realizarse. El primer aplastamiento reduce la piedra a un tamaño nominal aproximadamente de 6 pulgadas. Luego, la piedra va a trituradoras secundarias o molinos de martillos para reducirla a aproximadamente 3 pulgadas o menos, así ejerciendo el proceso de fabricación del cemento portland para el uso del consumidor.

La piedra trituradora se combina con otros elementos como el mineral de hierro o las cenizas volantes y se muele, se mezcla y se alimenta a un horno de cemento; este horno calienta todos los materiales a unos 2700 grados Fahrenheit en enormes hornos rotatorios de aceros cilíndricos revestidos con ladrillos refractarios especiales (PCA, 2019).

Los hornos suelen tener hasta 12 pies de diámetro, lo suficientemente grandes para acomodar un automóvil y, en muchos casos, más largos que la altura de un edificio de 40 pisos. Los hornos grandes se montan con el eje ligeramente inclinado con respecto a la horizontal (PCA, 2019).

La materia prima finamente molida o la lechada se alimenta al extremo superior. En el extremo inferior hay una llamarada rugiente, producida por la quema controlada con precisión de carbón en polvo, petróleo, combustibles alternativos o gas bajo tiro forzado. A medida que el material se mueve a través del horno, ciertos elementos son expulsados en forma de gases. Los elementos restantes se unen para formar una nueva sustancia llamada clínker, el mismo que sale del horno en forma de bolas grises, del tamaño de canicas (PCA, 2019).

El clínker se descarga al rojo vivo desde el extremo inferior del horno y generalmente se baja a la temperatura de manipulación en varios tipos de enfriadores. El aire calentado de los enfriadores se devuelve a los hornos, un proceso que ahorra combustible y aumenta la eficiencia de combustión. Después de enfriar el clínker, las plantas de cemento lo muelen y lo mezclan con pequeñas cantidades de yeso y piedra caliza. El cemento es tan fino que 1 libra de cemento contiene 150 mil millones de granos (PCA, 2019).

El cemento ya está listo para ser transportado a empresas de concreto premezclado para ser utilizado en proyectos de construcción. En obras civiles, aunque el proceso seco es la forma más moderna y popular de fabricar cemento, algunos hornos en los Estados Unidos utilizan el proceso húmedo. Los dos procesos son esencialmente iguales excepto en el proceso húmedo, las materias primas se muelen con agua antes de introducirlas en el horno (PCA, 2019).

### **2.3.4 Cemento Hidráulico.**

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 151, 2010, p. 2) define al cemento hidráulico como, “cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y es capaz de hacerlo aún bajo el agua”.

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015, pp. 101–102) los cementos hidráulicos deben cumplir con los requisitos contemplados en las siguientes normas establecidas:

- 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).

Y todos los cementos que en el futuro contemple y regule el INEN.

#### **a) Cemento Hidráulico Compuesto.**

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 151, 2010, p. 2) 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) Cemento Holcim Tipo GU.**

Según (Holcim Ecuador S.A., 2019, p. 2) “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”. En la **Tabla 6** se detallan los requisitos físicos normalizados del cemento.

**Tabla 6**  
*Requisitos físicos normalizados del cemento*

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
<b>Finura</b>	INEN 196	A	A	A	A	A	A
<b>Cambio de longitud por autoclave, % máximo</b>	INEN 200	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
<b>Tiempo de fraguado, método de Vicat<sup>B</sup></b>	INEN 158						
<b>Inicial, no menos de, minutos</b>		45	45	45	45	45	45
<b>Inicial, no más de, minutos</b>		420	420	420	420	420	420
<b>Contenido de aire del mortero, en volumen, %</b>	INEN 195	C	C	C	C	C	C
<b>Resistencia a la compresión, MPa, mínimo<sup>D</sup></b>	INEN 488						
<b>1 día</b>		--	12	--	--	--	--
<b>3 días</b>		13	24	11	11	5	--
<b>7 días</b>		20	--	18	18	11	11
<b>28 días</b>		28	--	--	25	--	21
<b>Calor de Hidratación</b>	INEN 199						
<b>7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo</b>		--	--	--	--	290	250
						(70)	(60)
<b>28 días kJ/kg (kcal/kg), máximo</b>		--	--	--	--	--	290
							(70)
<b>Expansión en barra de mortero</b>	INEN 2529						
<b>14 días, % máximo</b>		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
<b>Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos)<sup>E</sup></b>	INEN 2503						
<b>6 meses, % máximo</b>		--	--	0.10	0.05	--	--
<b>1 año, % máximo</b>		--	--	--	0.10	--	--

<sup>A</sup> El porcentaje retenido en el tamiz de 45µm (No. 325) por vía húmeda y el área de la superficie específica determinada en el equipo de permeabilidad al aire en m<sup>2</sup>/kg, ambos deben ser informados en todos los certificados de resultados requeridos al fabricante.

<sup>B</sup> El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTE INEN 158.

<sup>C</sup> Se debe informar el contenido de aire en todos los certificados de resultados de ensayos requeridos al fabricante. El valor obtenido en el mortero no garantiza necesariamente que el contenido de aire en el hormigón sea el mismo.

<sup>D</sup> Los cementos pueden ser despachados antes que estén disponibles los datos de ensayo de mayor edad. En tales casos, el valor del ensayo puede dejarse en blanco. Alternativamente, el fabricante puede proveer valores estimados basados en datos históricos de producción. El informe debe indicar si se proporcionan tales estimaciones.

<sup>E</sup> En los ensayos de cemento HS, no se requieren los ensayos a un año cuando el cemento cumple con el límite a 6 meses. Un cemento HS que no cumple con el límite a 6 meses, no debe ser rechazado a menos que tampoco cumpla el límite a un año.

**Nota:** Muestra los requisitos físicos que deben cumplir los cementos hidráulicos para su desempeño (NTE INEN 2380, 2011, p. 3).

### c) Descripción y Características

(Holcim Ecuador S.A., 2019, p. 6) menciona lo siguiente: “el cemento hidráulico se define como un elemento de cemento que fragua y endurece por una reacción química con el agua y endurece incluso en el agua”.

En cambio, a los cementos portland se los define como un cemento hidráulico producido por pulverización del clínker, que consiste esencialmente de silicatos cálcicos hidráulicos y que usualmente contiene uno o más de los siguientes elementos: sulfato de calcio, hasta 5% de piedra caliza y adiciones de proceso (NTE INEN 151). Las características y los requisitos que debe cumplir los cementos portland se establecen en la norma NTE INEN 152.

Así mismo, la NTE INEN 2380 establece los requisitos de desempeño que deben cumplir los cementos hidráulicos y clasifica a los cementos de acuerdo con sus propiedades específicas sin considerar restricciones sobre su composición o la de sus constituyentes.

Esta norma establece los siguientes seis tipos de cemento:

- Tipo GU: Para construcción en general (2019, p. 6).
- Tipo HE: Alta resistencia inicial (2019, p. 6).
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos (2019, p. 6).
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos (2019, p. 6).
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación (2019, p. 6).
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación (2019, p. 6).

Adicionalmente, esta norma indica que cuando no se especifica el tipo de cemento, se deducirá que el cemento a usar es el cemento Holcim Tipo GU de uso general (2019, p. 6).

### **2.3.5 Agua.**

Para (Bañón Luis, 2010, p. 8; Ortiz Francisco, s.f., p. 13) “el agua utilizada, tanto para la mezcla como para el endurecimiento del hormigón en obra no debe contener componentes nocivos que puedan afectar las propiedades del hormigón o la protección contra la corrosión de los refuerzos”.

Para (Troyano Miguel, s.f., p. 11) el agua mezclada es la cantidad de agua agregada a la mezcla seca de agregado y cemento. El agua requerida para hidratar el cemento durante el fraguado se denomina agua de fraguado. La cantidad de agua de amasado debe ser superior a la de fraguado básicamente por las siguientes razones:

- La pérdida de agua es causada por la mezcla, el transporte y puesta en obra del hormigón, así como por evaporación.
- Parte del agua mezclada es absorbida por los agregados, y se vuelve más pequeña a medida que aumenta la cantidad.
- El agua le proporciona movilidad a la masa de hormigón y facilita la colocación en obra del concreto.

Por tanto, el agua mezclada tiene una doble función en el hormigón. Por un lado, interviene en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, le brinda al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe ser estrictamente la mínima necesaria, ya que el exceso de agua se evapora y crea una serie de agujeros en el hormigón (capilares) reduciendo su resistencia. Sin embargo, por otra parte, el contenido en agua no se puede reducir en exceso, ya que puede dar lugar a grumos que no funcionan bien y son difíciles de colocar en obra (Troyano Miguel, s.f., pp. 11–12).

#### **a) Relación agua/cemento.**

Para (Guevara et al., 2012, pp. 2–3) en la 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. Así, se puede afirmar que la resistencia del concreto depende altamente de la relación por peso entre el agua y el cemento. Esto se puede apreciar en la **Tabla 7**.

**Tabla 7**  
*Relación agua/cemento en la resistencia del cemento*

A/C	$f'_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>0.36</b>	420
<b>0.40</b>	370
<b>0.45</b>	340
<b>0.50</b>	295
<b>0.55</b>	275
<b>0.60</b>	230
<b>0.65</b>	220
<b>0.70</b>	185
<b>0.75</b>	165
<b>0.80</b>	140

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

Así mismo el curado es muy importante, ya que, si este proceso se realiza de forma incorrecta, se podría perder hasta el 30% de la resistencia esperada; por eso, lo recomendable sería realizarlo por 28 días. Cabe resaltar que la resistencia que se le especifica al concreto, aproximadamente el 70%, se genera en los primeros 7 días. A los 14 días, la resistencia ha logrado llegar al 85% de lo que se espera en 28 días (Guevara et al., 2012, p. 3).

### **2.3.6 Aire.**

Cuando el hormigón se encuentra en proceso de mezclado, es normal que atrape aire dentro de la masa, el cual es posteriormente liberado por los procesos de compactación a que es sometido una vez que colocado. Sin embargo, es imposible extraer todo el aire y siempre queda un porcentaje dentro de la masa endurecida. Por otra parte, en algunas ocasiones se incorporan pequeñísimas burbujas de aire, por medio de aditivos (Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado, 2007).



#### **a) Contenido de Aire.**

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762, 2015, p. 3) define el contenido de aire como, “volumen de vacíos de aire en el mortero u hormigón, excluyendo los poros del agregado. Generalmente se expresa como un porcentaje del volumen total del mortero u hormigón”.

#### **b) Aire Atrapado.**

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762, 2015, p. 2) menciona lo siguiente: “la cantidad de aire contenido en la mezcla comprimida, normalmente burbujas de 1mm. Forma irregular sobre el diámetro”.

#### **c) Aire Incorporado.**

“Burbujas finas, normalmente incorporadas por un aditivo en morteros u hormigones durante el mezclado, generalmente mediante el uso de un agente activo de superficie. Principalmente burbujas con un diámetro de 10  $\mu\text{m}$  a 1000  $\mu\text{m}$ , esféricas o aproximadamente esféricas” (NTE INEN 1762, 2015, p. 2).

### **2.3.7 Agregados (Áridos).**

Para (Escalante & Avila, 2015, pp. 18–19) los agregados están conformados por gravas y arenas, estos constituyen la estructura granular del hormigón, cuyas oquedades deben rellenarse lo máximo posible con la pasta conglomerante. Los agregados son el 80% en masa de la composición del hormigón y el 70-75% de su volumen. Preparando un hormigón con una buena dosificación se obtiene mejor calidad del mismo, puesto que los agregados se oponen a la retracción del hormigón.

En la **Tabla 8** y en la **Tabla 9** se detalla el análisis granulométrico del agregado grueso y el análisis granulométrico del agregado fino respectivamente.

(Escalante & Avila, 2015, p. 19) mencionan que se categoriza al árido según sus tamaños clasificándolo de la siguiente manera:

- Grava o agregado grueso: Retenido en No.4 ó  $> 4.75\text{mm}$ .
- Arena o agregado fino: Pasante No.4 ó  $< 4.75\text{mm}$ .
- Arena gruesa: Pasante No.4/ Retenido en No.10 ó entre  $2\text{mm}-4.75\text{mm}$ .
- Arena fina: Pasante No.10/ Retenido en No.200 ó entre  $0.075\text{mm}-2\text{mm}$ .
- Polvo o fino de la arena: Pasante No.200 ó  $<0.075\text{mm}$ .

(NTE INEN 1762, 2015, p. 2) define al árido de la siguiente manera, “material granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro se utilizan con cemento para producir hormigón o mortero de cemento hidráulico”. Mientras que (Norma Ecuatoriana De La Construcción, 2015, p. 102) menciona lo siguiente, el material granular debe estar formado, como mínimo, de dos porciones de tamaños diferentes; el árido grueso, cuyas partículas son, por lo general, más grandes que  $4.75\text{mm}$  de diámetro nominal y el árido fino, cuyo tamaño de partículas está entre  $75\mu\text{m}$  y  $4.75\text{mm}$ .

#### **a) Agregado Grueso.**

Para (Labanda & Rodríguez, 2020, p. 14; Prudente & Vallejo, 2019, p. 31) el agregado grueso o piedra son partículas de forma alargada, aplanada, angular, áspera, rugosa, redondas o lisas, de manera que deben ser resistentes, duras, limpias para lograr la resistencia diseñada en el hormigón. Es importante que esté libre de arcilla o de químicos que puedan afectar la adherencia o hidratación de la pasta del cemento, el agregado grueso debe cumplir con los requisitos de granulometría de la especificación técnica ASTM C33 y de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872.

Para (Romo, 2008, p. 6) los áridos gruesos o agregados 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”.

(NTE INEN 1762, 2015, p. 2) define el agregado grueso como, “árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4.75mm (No.4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4.75mm (No.4)”. Para (NEC, 2015, p. 103) “las partículas del árido grueso serán de forma cúbicas, evitando las alargadas y laminares. Los cantos rodados serán de forma esférica, evitando las partículas planas”.

**Tabla 8**

*Análisis granulométrico del árido grueso*

Tamiz (mm)	Porcentaje que pasa (%)
53	100
37.5	95 a 100
19	35 a 70
9.5	10 a 30
4.75	0 a 5

*Nota:* Muestra los límites del análisis granulométrico de áridos gruesos (NTE INEN 872, 2011, p. 6).

### **b) Agregado Fino.**

Para (NEC, 2015, p. 103) el árido fino más adecuado es la arena natural de granos redondos, pero se puede emplear el polvo de piedra, producto de la trituración de las rocas, siempre que no tengan exceso de finos o partículas alargadas y laminares. Los agregados finos “son partículas provenientes de la trituración de rocas cuyo tamaño es inferior a 5mm, o aquellos que pasan casi completamente por el tamiz No.4, y que es retenido en su totalidad en el tamiz No.200” (ASTM C 125-00, 2003).

(NTE INEN 1762, 2015, p. 2) define a los agregados finos como, árido que pasa por el tamiz de 9.5mm (3/8”) y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz de 4.75mm (No.4) y son retenidas en su mayoría en el tamiz 75µm (No.200), o la parte de un árido que pasa por el tamiz No.4 y es retenido en el tamiz No.200.

**Tabla 9**

*Análisis granulométrico del árido fino*

Tamiz (NTE INEN 154)	Porcentaje que pasa
9.5mm	100
4.75m	95 a 100
2.36mm	80 a 100
1.18mm	50 a 85
600µm	25 a 60
300µm	5 a 30
150µm	0 a 10

*Nota:* Muestra los límites del análisis granulométrico de áridos finos (NTE INEN 872, 2011, p. 2).

### 2.3.8 Aditivos.

Para (Perles, 2009, p. 41) los aditivos “son sustancias que se agregan al hormigón en el momento de la mezcla, para modificar sus propiedades, a fin de mejorar sus condiciones de uso, según las necesidades particulares de cada caso”. La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762, 2015, p. 1) menciona que el aditivo es “un producto químico que se puede usar como componente de mortero u hormigón que no sea cemento Portland, árido o agua y se agrega antes o durante la mezcla para mejorar ciertas propiedades”.

Para (Tomalá & Cucalón, 2020, p. 19) el aditivo “es un componente utilizado en la fabricación de concreto y puede incorporarse antes o durante la preparación de una mezcla para mejorar sus propiedades físicas. Generalmente su dosificación es equivalente al 5% del peso del cemento”. La **Tabla 10** detalla los tipos de aditivos químicos con sus principales características.

**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

Para (Bombón & Rosero, 2021, p. 46) “este producto se origina como una alternativa al uso del microsílice, el mismo que ha sido usado satisfactoriamente en los últimos años como un aditivo en hormigones de alto desempeño el cual proporciona mejores propiedades físico-mecánicas”. los hormigones en la actualidad deben tener mejores propiedades ya sean para aumentar su resistencia a compresión como a tracción y cortante.

“Las partículas de nanosílice en su proceso de reacción química reaccionan con el Clínker portland durante la hidratación del cemento hidráulico formando compuestos de tipo gel, conocidos como silicato cálcico hidratada (C-S-H), el cual mejora las propiedades resistentes del hormigón” (Bombón & Rosero, 2021, p. 47).

Para (Salgado, 2010, p. 31) “las partículas de nanosílice aumentan el proceso de hidratación incrementando de esta manera las propiedades mecánicas a edades tempranas”. Por ello presenta la siguiente **Tabla 11**, de los porcentajes de hidratación con o 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 (Salgado, 2010, p. 31).

### b) Aerosil® 200

“El Aerosil® 200 es una sílica pirogénica hidrofílica con un área superficial específica de 200 m<sup>2</sup>/g” (Suministro de Especialidades, 2020, p. 1). La **Ilustración 1** y la **Ilustración 2** muestran el producto antes de ser usado en la mezcla del hormigón. En la **Tabla 12** se detallan las características químicas más típicas de este aditivo.

**Figura 1**

*Aditivo Aerosil® 200*



*Nota:* Muestra el aditivo Aerosil® 200 antes de ser usado en la mezcla del hormigón.

**Figura 2**  
Aerosil® 200 pesado al 1%



**Nota:** Aerosil® 200 pesado al 1% para ser empleado en la mezcla de en un hormigón de  $f'_c$  210 Kg/cm<sup>2</sup>

El Aerosil® 200 permite controlar la reología tixotropía de sistemas líquidos, aglutinantes, polímeros, etc. De igual forma, se utiliza como agente anti-sedimentación, agente espesante y agente estructurante. Asimismo, funciona como carga reforzante de silicón de vulcanización a alta temperatura (HTV o HCR) y/o como carga reforzante en silicones de vulcanización a temperatura ambiente (RTV). Finalmente, otorga buenas propiedades de fluido y características anti-aglomerantes a los polvos (Suministro de Especialidades, 2020, p. 1).

**Tabla 12**  
*Características típicas químicas del Aerosil® 200*

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
<b>Área superficial específica (BET)</b>	m <sup>2</sup> /g	175 - 225
<b>Valor de pH (al 4% de dispersión)</b>		3.7 - 4.5
<b>Pérdidas por secado, 2h a 105 °C*</b>	%	≤ 1.5
<b>Densidad compactada*</b>	g/L	Aprox. 50
<b>Contenido de SiO<sub>2</sub> (basado en el material sometido a ignición)</b>	%	>99.8

**\*Los datos representan valores típicos y no deben ser tomados como especificación**

*Nota:* La tabla muestra las principales características químicas del Aerosil® 200 (Suministro de Especialidades, 2020, p. 1).

## 2.4 Propiedades Mecánicas del Hormigón

Para (Rivas, s.f., p. 6) la principal propiedad estructural del hormigón es su capacidad para soportar esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas y deben usarse en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para superar esta deficiencia, el hormigón se puede reforzar insertando barras de acero, conocido como hormigón armado, o concreto reforzado, y se pueden aplicar fuerzas de corte y tracción a la barra de refuerzo. También es habitual que las barras de acero refuercen zonas o elementos comprimidos, como es el caso de los pilares.

### 2.4.1 Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ).

En el hormigón la propiedad mecánica más importante es la resistencia a la compresión, esta es representada por el símbolo  $f'_c$ . Para (Nilson, 2001, p. 15) es la “característica particular más importante de cualquier elemento estructural es su resistencia real, la cual debe ser suficientemente elevada para resistir, con algún margen de reserva, todas las cargas previsibles que puedan actuar sobre aquel durante la vida de la estructura”.

Para (Romo, 2008, p. 14) la resistencia a la compresión del hormigón, “se determina mediante muestras cilíndricas estandarizadas con un diámetro de 15cm y una altura de 30cm. Estas muestras se dañan por una carga incremental relativamente rápida que dura unos minutos. Esta resistencia se mide 28 días después del fraguado”.

(Norma Ecuatoriana De La Construcción, 2015, p. 25) menciona lo siguiente, “la propiedad mecánica fácilmente mensurable del hormigón es su resistencia a la compresión, obtenida del ensayo de probetas cilíndricas. Siendo este un parámetro de referencia para determinar otras propiedades mecánicas, debido a la vinculación directa con la mayoría de ellas”.

En (Norma Ecuatoriana De La Construcción, 2015, p. 31) “se usarán los siguientes valores de resistencia especificada a la compresión de los diseños de hormigón:

- Valor mínimo para el hormigón normal:  $f'_c=21\text{MPa}$
- Valor máximo para elementos de hormigón liviano:  $f'_c = 35\text{MPa}$

Donde:

$f'_c$  Resistencia especificada a la compresión del Hormigón (MPa)''.

#### a) Especificación de resistencia determinada mediante pruebas

La evaluación de los resultados de pruebas de resistencia del hormigón tiene en cuenta que la producción está sometida a variaciones en los componentes, medición, pruebas y resultados de los ensayos. A causa de esta variabilidad existente, se debe dosificar el hormigón de manera que se obtenga una resistencia promedio  $f'_{cr}$  muy por encima de la especificada  $f'_c$ . Esta resistencia promedio deberá calcularse con base en el análisis estadístico de la experiencia previa en la producción de hormigón (**Tabla 13** y **Tabla 14**) o considerando un sobre diseño (**Tabla 15**) cuando no se cuenta con estos registros estadísticos. En la **Tabla 14** se debe aplicar en ambos casos el valor que resulte mayor (NEC, 2015, p. 31).

**Tabla 13**

*Requisitos de resistencia a compresión cuando se disponen de datos históricos de producción*

Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Resistencia media requerida $f'_{cr}$ (MPa)
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las 2 ecuaciones: $f'_{cr} = f'_c + 1.34 s_s$ $f'_{cr} = f'_c + 2.33 s_s - 3.5$
$f'_c < 35$	Usar el mayor valor obtenido de las 2 ecuaciones: $f'_{cr} = f'_c + 1.34 s_s$ $f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33 s_s$

Donde:

$f'_c$  Resistencia especificada a la compresión del hormigón (MPa)

$f'_{cr}$  Resistencia media requerida (MPa)

$S_s$  Desviación estándar de la muestra (MPa)

Se determina el valor de  $S_s$  conforme a lo expuesto en la sección 5.3.1 del ACI 318. De acuerdo con dicha sección, se aplicará un factor de corrección en los siguientes casos:



**Tabla 14***Corrección para datos estadísticos menores a 30 ensayos*

Número de ensayos	Factor de corrección para la desviación estándar $S_s$ de la muestra
Menos de 15	N.A.
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

Al no disponer de informaciones estadísticas de ensayos, se utilizará la siguiente tabla para determinar  $f'_{cr}$ :

**Tabla 15***Requisitos de resistencia a la compresión cuando no se disponen de datos estadísticos*

Resistencia especificada $f'_c$ (MPa)	Resistencia media requerida $f'_{cr}$ (MPa)
$< 21$	$f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_c + 8.5$
$> 35$	$1.10 f'_c + 5.0$

Dónde:

$f'_c$  – Resistencia especificada a la compresión del Hormigón (MPa)

### 2.4.2 Resistencia a la Fluencia.

(NEC, 2015, p. 33) menciona lo siguiente acerca de la resistencia a la fluencia:

- “La resistencia real a la fluencia basada en ensayos realizados por la fábrica no sea mayor que  $f_y$  en más de 125MPa:
- La relación entre la resistencia real de tracción y la resistencia real de fluencia no sea mayor de 1.25”.

### 2.4.3 Resistencias.

La reacción química entre el cemento y el agua forma un gel de cemento, solución coloidal que da lugar al enlace firme entre los agregados. La resistencia viene dada básicamente por los geles de cemento, producto de la hidratación. Por lo tanto, será conveniente que exista el mayor volumen posible de ellos, lo que se consigue cuando el agua es de aproximadamente el 40%, cantidad necesaria para lograr la hidratación de todo el cemento (Perles, 2009, p. 24).

El agua que excede el 40% no interviene en la reacción química, ni actúa siquiera como transporte para la misma, por lo que se evapora rápidamente, dejando poros y conductos capilares que debilitan el hormigón. Se deduce entonces que, a mayor cantidad de agua, habrá menor volumen de geles de cemento y por lo tanto menor volumen resistente. Si disminuye el agua habrá mayor volumen de vacíos, mayor volumen de geles de cemento y por consiguiente mayor resistencia (Perles, 2009, p. 25).

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, de ella depende la calidad general del mismo, siendo un requisito para el diseño de las estructuras, con el objetivo que las edificaciones sean capaces de soportar incluso desastres naturales.

#### **a) Resistencia de Diseño.**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015, p. 13) define la resistencia de diseño como “Resistencia nominal multiplicada por un factor de reducción de resistencia **F**”.

#### **b) Resistencia Nominal**

Para la Norma Ecuatoriana de la Construcción la resistencia nominal es una “resistencia de un elemento o una sección transversal calculada con las disposiciones e hipótesis del método de diseño por resistencia, antes de aplicar cualquier factor de reducción de resistencia” (NEC, 2015, p. 13).

#### **c) Resistencia Requerida**

La Norma Ecuatoriana de la Construcción define la resistencia requerida como: resistencia que un elemento necesita tener al momento del diseño, o una sección transversal del mismo, debe tener para resistir las cargas mayoradas o los momentos y fuerzas internas correspondientes combinadas. Las resistencias requeridas a carga axial, momento y cortante que se emplean para diseñar elementos, se denominan ya sea como cargas axiales mayoradas, momentos mayorados y cortantes mayorados o como cargas axiales, momentos y cortantes requeridos (NEC, 2015, p. 13).

## 2.5 Registro de Pruebas

Un compendio de resultados de pruebas de resistencia de una misma mezcla de hormigón. Los registros de pruebas similares de hormigón pueden ser utilizados para calcular la desviación estándar combinada. Las mezclas de hormigón se consideran similares si sus resistencias nominales están dentro de 6.9MPa y representan materiales similares, producidos, entregados y manipulados bajo condiciones similares (NEC, 2015, p. 13).

## 2.6 Dosificación

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1762, 2015, p. 3) define la dosificación como: “proporción en masa o en volumen de los distintos materiales que integran una mezcla”. Para (Norma Ecuatoriana De La Construcción, 2015, p. 26) “se deben utilizar los parámetros más exigentes para determinar la dosificación de la mezcla. La dosificación se puede basar en la experiencia en obras similares, en mezclas de prueba o en ambas”.

(Bañón Luis, 2010, p. 13) menciona lo siguiente, “los componentes del hormigón se dosifican por peso, excepto el agua que se dosifica por volumen. Para asegurar una determinada resistencia de diseño para el hormigón, es necesario limitar la relación agua/cemento máximo y el contenido mínimo de cemento”.

Por su parte (Perles, 2009, p. 24) menciona lo siguiente acerca de la dosificación, “se puede afirmar que un hormigón está bien dosificado cuando satisface los requerimientos de:

- Resistencia,
- Durabilidad,
- Trabajabilidad,
- Economía
- Desempeño”.

Estos parámetros considerados por perles son de manera categórica para los desempeños de los hormigones de uso convencional.

## 2.7 Asentamiento (Revenimiento)

(NTE INEN 1762, 2015, p. 2) define el asentamiento como una medida de la consistencia del hormigón obtenida en el ensayo del cono de Abrams. Esto se refiere a la contracción vertical del material de cemento fresco antes de que comience a endurecerse, como resultado del sangrado o exudación (asentamiento de los sólidos con relación a los líquidos), de la subida de los vacíos de aire hacia la superficie y de la contracción química.

**Tabla 16**

*Precisión en el método de ensayo del asentamiento*

<b>Asentamiento e Índice de tipo</b>	<b>Desviación estándar (1s) <sup>A</sup></b>	<b>Rango aceptable de dos resultados (d2s) <sup>A</sup></b>
<b>Precisión para un solo operador:</b>		
<b>Asentamiento 30 mm</b>	6 mm	17 mm
<b>Asentamiento 85 mm</b>	9 mm	25 mm
<b>Asentamiento 160 mm</b>	10 mm	28 mm
<b>Precisión multilaboratorio:</b>		
<b>Asentamiento 30 mm</b>	7 mm	20 mm
<b>Asentamiento 85 mm</b>	10 mm	28 mm
<b>Asentamiento 160 mm</b>	13 mm	37 mm

<sup>A</sup> Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) descritos en la norma ASTM C 670

*Nota:* Muestra las estimaciones de precisión en el método de ensayo para determinar el asentamiento (NTE INEN 1578, 2010, p. 5).

## 2.8 Modelado Matemático

Para (Modelos Matemáticos, s.f., p. 2) un modelo matemático “es una construcción matemática abstracta y simplificada relacionada con una parte de la realidad y creada para un propósito particular. Así, por ejemplo, un gráfico, una función, o una ecuación pueden ser modelos matemáticos de una situación específica”.

Para (Roldán, 2020) un modelo matemático “es una representación simplificada, a través de ecuaciones, funciones o fórmulas matemáticas, de un fenómeno o de la relación entre dos o más variables”. La rama de las matemáticas que se encarga de estudiar las cualidades y estructura de los modelos es la llamada teoría de los modelos.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

**Implementación de nanosílice en porcentajes de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. Al hormigón tradicional con cemento portland tipo I.**

### **3.1 Generalidades**

En este capítulo a continuación se procederá a explicar el procedimiento del desarrollo del diseño experimental para la obtención de las probetas de hormigón con la incorporación del nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>) en porcentajes de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% a los hormigones convencionales con dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> estos siendo muestra de control para el respectivo diseño experimental.

Se denota la elaboración de los testigos además de la caracterización de los materiales utilizados en el proceso de adquisición de los especímenes de hormigón, también de los ensayos utilizados para la creación de las probetas, los ensayos físicos mecánicos ejecutados al hormigón en estado fresco y endurecido a los 3, 7, 14 y 28 días.

### **3.2 Diseño Experimental.**

El diseño experimental se ejecutó en base a la implementación de nanosílice en pequeños porcentajes que son del 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% al hormigón que trabaja con cemento portland de uso general Tipo GU para observar si mejoran las propiedades mecánicas específicamente la resistencia a la compresión de los hormigones tradicionales tales que son de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 240 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, en la provincia de Santa Elena.

Se construyeron especímenes utilizando cemento portland tipo (GU) de uso general de 50 kg en los cantones de Salinas, La Libertad y Santa Elena, con este cemento se realizaron dosificaciones de 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa para obtener las resistencias a compresión, nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>) al 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del contenido del cemento.

A continuación, en la **Tabla 17** se identifican con siglas los diferentes tipos de agregados utilizados con su respectivo porcentaje en el experimento para obtener los hormigones ensayados en este proceso.

1. CP.- Cemento Portland.
2. Nano-SiO<sub>2</sub>.- Nanosílice.
3. P.- Probeta.

**Tabla 17**  
*Tipo de hormigón y su porcentaje con nanosílice*

	<b>Tipo de Hormigón</b>	<b>Cont. CP</b>	<b>Cont. Nano-SiO<sub>2</sub></b>
<b>1</b>	P1-CP	100%	0%
<b>2</b>	P2-0.5% Nano-SiO <sub>2</sub>	99.50%	0.50%
<b>3</b>	P3-1.0% Nano-SiO <sub>2</sub>	99%	1.0%
<b>4</b>	P4-1.5% Nano-SiO <sub>2</sub>	98.50%	1.50%
<b>5</b>	P5-2.0% Nano-SiO <sub>2</sub>	98%	2.0%

*Nota:* El hormigón fue clasificado de manera general, descontando el porcentaje utilizado a cada muestra.

### 3.3 Metodología del diseño

- 1) Elección de los agregados finos y gruesos a utilizar en la probeta.
- 2) Ensayos a los agregados finos y gruesos: granulometría, peso volumétrico y porcentaje de absorción.
- 3) Elaboración del hormigón según su dosificación e implementación de porcentaje de nanosílice.
- 4) Selección de las propiedades siguientes del ensayo en el hormigón:
  - Revenimiento mediante el uso del cono de Abrams – NTE INEN 1578.
  - Resistencia a compresión 28 días para nuestra investigación seleccionamos: 21MPa, 24MPa y 28Mpa.
  - Aire Ocluido microscópicas de 0.1 a 1 mm de diámetro – ASTM C231.

### **3.4. Ejecución, elaboración e identificación de las materias primas:**

#### **3.4.1 Agregados Finos y Gruesos (áridos).**

Los agregados usados para la obtención de los especímenes de hormigón fueron de dos clasificaciones; el agregado grueso que es la piedra 3/4 extraído de la trituración de roca de las minas de Guayaquil, Cantera San Eduardo y el agregado fino que es arena extraída de la cantera El Triunfo.

Los ensayos realizados a los agregados finos y gruesos son:

- NTE INEN 696 – Distribución granulométrica.
- NTE INEN 857 - Determinación de la absorción y densidad de los agregados gruesos y NTE INEN 856 para determinar los agregados finos.
- NTE INEN 862 – Determinación de contenido total de humedad.
- NTE INEN 858 – Determinación de la masa unitaria suelta.
- NTE INEN 858 – Determinación de la masa unitaria compactada.

##### **a) Análisis Granulométrico – NTE INEN 696**

La determinación de la graduación del material a utilizar como son para los agregados Finos y gruesos para el diseño del hormigón es relevante para los propósitos de la dosificación. Los datos obtenidos por los ensayos granulométricos se utilizan para diagnosticar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las normas aplicables y proporcionar valores necesarios para el control de la adquisición de los diversos hormigones y mezclas que contengan los agregados utilizados.

##### **Equipos:**

- Tamices Standard. - Los tamices Standard N° 2", 1 3/4", 1 1/2", 1 1/4", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 4, 8 y fondo. Deben ser montado sobre marcos cuya elaboración reduzca las pérdidas de los agregados durante el proceso del tamizado. Los tamices utilizados deben estar normados con las dimensiones nominales de abertura establecidos en la NTE INEN 154 aplicables para el diseño del hormigón.

- Báscula Industrial de plataforma. – Las balanzas seleccionadas para el ensayo de los agregados finos y gruesos deben dar una exactitud y legibilidad como se dará a conocer a continuación:
  - En los agregados finos, la balanza debe ser legible hasta 0.1 g y la precisión de 0.1 g o del 0.1% de la carga del ensayo a efectuar, siendo mayor en cualquier punto dentro del rango de uso, se opta una báscula digital electrónica multifunciones con serie 123456 Helmac.
  - En los agregados gruesos o mezclas con agregados finos, la precisión debe de rondar de 0.5 g o 0.1% de la carga a ensayar, o ser mayor en cualquier rango del punto de uso, se opta por una báscula genérica Brecneck N° Bs12453.
- Tamizadora de laboratorio. – Dispositivo de tamizado mecánico, se utiliza para crear movimientos consecutivos en los tamices produciendo que las partículas vibren y puedan descender, u otra forma de desplazamiento que presente orientaciones diferentes a la superficie de tamizado.
- Horno eléctrico Serproma. – Horno de laboratorio, capaz de perdurar a una temperatura uniforme de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para realizar el respectivo ensayo.
- Taras. – Instrumento con el que se deduce del peso bruto de un objeto debido al peso del recipiente a utilizar con el material del árido que contiene, determinando su peso neto.

**Desarrollo Técnico:**

- I. Elegir los tamices adecuados especificados por la norma ASTM C117 – 95 o NTE INEN – 872 que sostenga los tamaños de las partículas de los agregados a ensayarse, con la finalidad de obtener la información de acuerdo a las especificaciones. Utilizar tamices para obtener mayor cantidad de datos y facilitar mayor información, siendo el módulo de finura o para regular la cantidad de material pasante de un tamiz.



- II.** Administrar los tamices de forma ascendente hacia descendente según el tamaño nominal de la abertura de cada tamiz, de forma que se coloca la muestra en la parte superior de los tamices. Consecutivamente colocar los tamices en la tamizadora para así en un lapso de 5 minutos obtener la muestra del ensayo ya tamizado, de tal forma observando que cumpla las especificaciones y conformidad de tamizado.
- III.** La cantidad de árido a utilizar debe de estar en un rango donde se determine que el tamiz tenga la opción de que las partículas lleguen a las aberturas en el tamizado. Para tamices con aberturas pequeñas la cantidad retenida no debe de exceder  $7 \text{ kg/m}^2$  en el área del tamizado.
- IV.** Tratar de no sobrecargar de material los tamices individuales, tomando en cuenta uno de los siguientes métodos:
- La muestra debe de ser dividida en dos o más porciones para el respectivo tamizado. La muestra general debe de ser pesada antes de dividirla en las porciones retenidas sobre el tamiz específico antes de calcular los porcentajes de las muestras.
  - Realizar el ensayo con tamices de un tamaño de marco amplio y que cubra la superficie del tamizado.
- V.** Siguiendo el tamizado por un periodo de 5 minutos en la tamizadora de laboratorio de forma tal que una vez finalizado, el 1% de la muestra del material retenido en cualquier tamiz independiente pase el tamiz durante un minuto de tamizado manual, continuando de la manera siguiente:
- Mantener el tamiz independientemente, provisto con una bandeja de fondo y una tapa, en una posición un poco inclinada en una mano.
  - Siguiendo golpear fuertemente un lado del tamiz y con un ligero movimiento de arriba hacia abajo contra la base de la otra mano, a razón de aproximadamente 200 veces por minuto, virar el tamiz, teniendo de

aproximación una octava parte de una revolución, en intervalos de 25 golpes.

- VI.** Tratar de no sobrecargar los tamices individualmente, esto en el caso de las mezclas de agregados finos y gruesos.
- VII.** Tener en cuenta que no se debe forzar a las partículas pasar por la abertura de los tamices.
- VIII.** Calcular con una báscula el tamaño de las partículas y denotar que cumplan con los requisitos de las especificaciones obtenidas del NTE INEN C117 – 95, con la precisión de la báscula de 0.1% de la masa total de la muestra seca original. El total de las muestras obtenidas por cada pasante debe de ser igual al valor de la muestra total seca original, si la variación llega a ser más del 0.3% los datos adquiridos no deben ser utilizados para los ensayos con fines de aceptación.

**Resultados:**

Los resultados de los ensayos son mostrados en la **Tabla 18**, donde se denotan los valores del ensayo aplicado y en el **Gráfico 1** tenemos las curvas de distribución granulométrica del agregado grueso, en la **Tabla 19** tenemos los datos obtenidos de granulometría del agregado fino y en el **Gráfico 2** encontramos la curva de distribución granulométrica de los agregados finos

**Tabla 18**  
*Distribución granulométrica de los agregados gruesos*

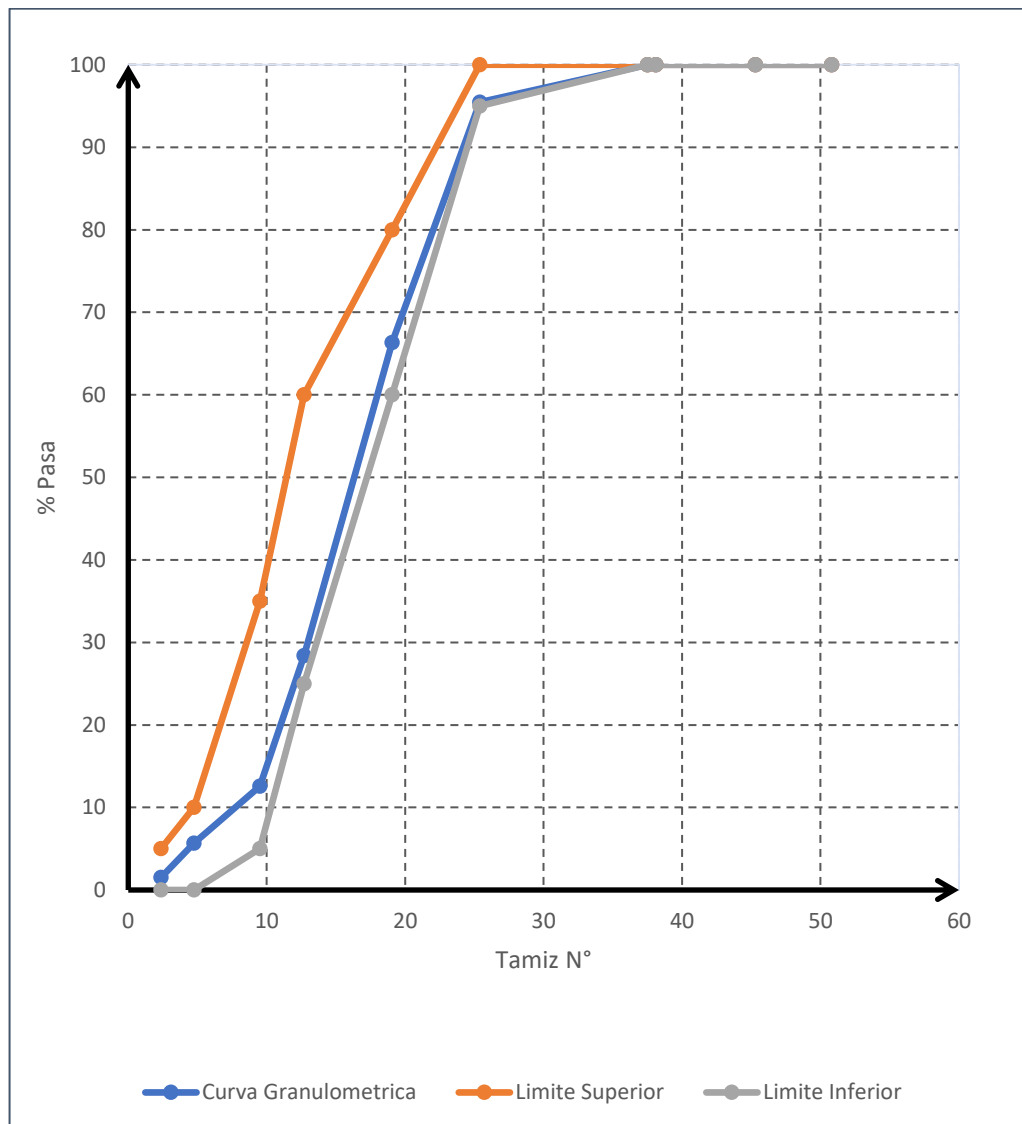
<b>Agregado Grueso</b>					
<b>Numero de tamaño</b>		<b>57</b>	<b>Tamaño máximo nominal (mm)</b>		<b>19.05</b>
Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
2"	50.80	0.00	0	0	100.00
1 3/4"	45.30	0.00	0	0	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0	0	100.00
1 1/4"	37.50	0.00	0	0	100.00

1"	25.40	0.36	4.52	4.52	95.48
3/4"	19.05	2.32	29.15	33.67	66.33
1/2"	12.70	3.02	37.94	71.61	28.39
3/8"	9.50	1.26	15.83	87.44	12.56
N° 4	4.75	0.55	6.91	94.35	5.65
N° 8	2.36	0.33	4.15	98.49	1.51
<b>Fondo-Pasa</b>		0.12	1.51	100.00	
<b>Total</b>		7.96		390.08	
			<b>MF</b>	3.90	

*Nota:* La tabla a continuación es obtenida mediante los ensayos en el laboratorio, estos datos pueden variar dependiendo el tipo de agregado a usar.

### Gráfico 1

*Curva Granulométrica de agregado Grueso*



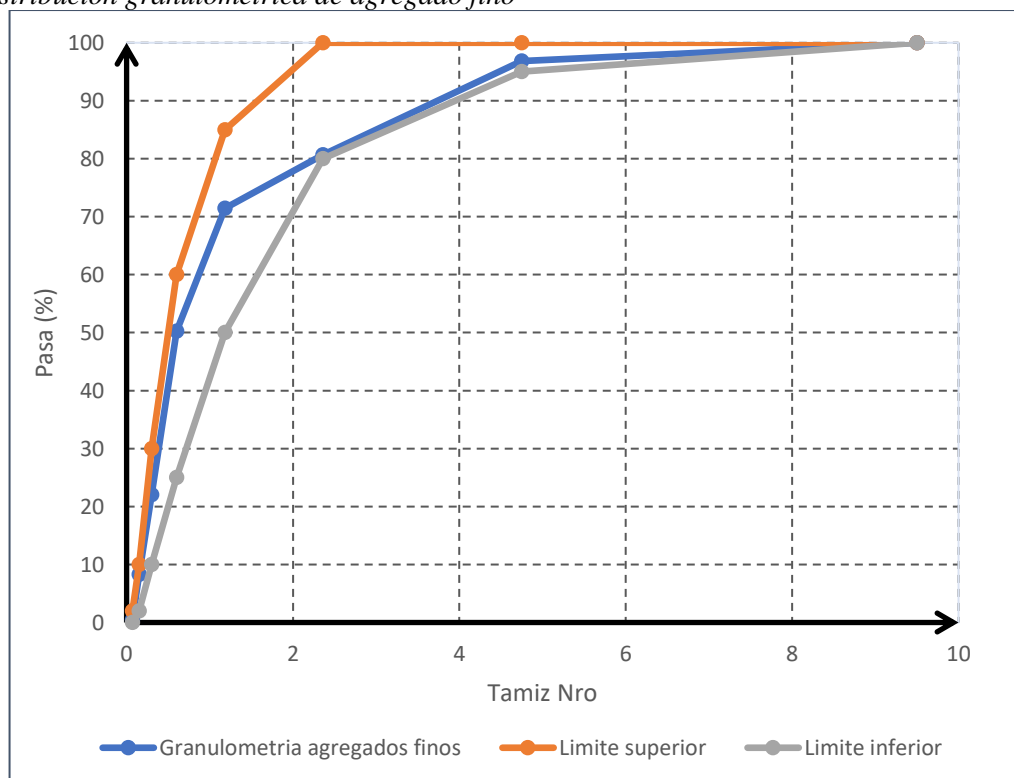
*Nota:* La siguiente grafica nos da que nuestra curva granulométrica cumple con las especificaciones del agregado grueso.

**Tabla 19**  
Distribución granulométrica de agregado fino

Agregado Fino					
Tamiz Nro.	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	Retenido acumulado (%)	Pasa (%)
3/8	9.50	0.00	0	0	100.00
N° 4	4.75	0.36	3.17	3.17	96.83
N° 8	2.36	1.83	16.14	19.31	80.69
N° 16	1.18	1.05	9.26	28.57	71.43
N° 30	0.60	2.4	21.16	49.74	50.26
N° 50	0.30	3.2	28.22	77.95	22.05
N° 100	0.15	1.56	13.76	91.71	8.29
N° 200	0.07	0.89	7.85	99.56	0.44
<b>Fondo-Pasa</b>		0.05	0.44	100.00	
<b>Total</b>		11.34		370.02	
			<b>MF</b>	3.70	

Nota: En la siguiente tabla se denota, los valores del ensayo obteniendo nuestro módulo de finura.

**Gráfico 2**  
Distribución granulométrica de agregado fino



Nota: La gráfica contiene los datos del ensayo de agregados finos, observando que nuestro agregado cumple con las normas.

## **b) Análisis de absorción y densidad del agregado fino y grueso**

### **Agregado grueso – NTE INEN 857**

El ensayo aplicado servirá para determinar la densidad promedio de una muestra de agregado grueso (excluyendo el volumen de vacíos entre cada partícula del hormigón), la gravedad específica (densidad relativa) y la absorción de los agregados gruesos.

#### **Equipos:**

- Báscula Industrial genérica Brecneck. -Instrumento para determinar peso, que sea frágil y legible, con un margen de error de 0.05% de la masa de la muestra en cualquier límite dentro del rango de uso para este ensayo, o 0.5 g, la que sea mayor. La báscula debe de estar anexada con tecnología apropiada para retener el recipiente para la muestra en agua, desde el centro de la plataforma o recipiente de la báscula N° 12453.
- Canasta de alambre. -Recipiente para la muestra con abertura N°6 de 3.35 mm o de malla más delgada o un cubo de ancho y altura aproximadamente idénticas, con capacidad de 1 galón (4 litros) a 1.3 galones (7 litros), para un agregado con tamaño máximo nominal de 37.5mm o más pequeño, o una canasta con superficie mayor, según sea necesario, para el ensayo de los agregados gruesos de mayor tamaño de magnitud. El recipiente debe estar construido de tal forma evite retener aire cuando este sumergido bajo el agua.
- Tanque hermético. -Tanque de agua, donde se coloca el recipiente para la muestra mientras se mantiene bajo la báscula.
- Tamices. – Con el tamiz N°4 de 4.75 mm o de otras dimensiones según sean dispensables, teniendo en cuenta que cumplan con las normas de la NTE – INEN 154.
- Horno de laboratorio. – Este instrumento debe de tener un tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Desarrollo Técnico:

- Secado inicial de la muestra en el horno a temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta conseguir una más constante. Luego enfriar la respectiva muestra al aire, a temperatura ambiente, entre 1 hora a 3 horas, para muestra de ensayo de tamaño máximo nominal de 37.5mm o por más tiempo para tamaños con mayor superficie, hasta que el agregado se enfrié a una temperatura que sea confortable para manipulación de la muestra (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); consecutivamente sumergir el agregado en agua a temperatura ambiente por un periodo mínimo de  $24\text{ h} \pm 4\text{h}$ .
- Los datos de gravedad específica y de absorción se utilizan en la dosificación de nuestro diseño de hormigón, en la que el agregado se encuentra en estado húmedo natural; el dato de la primera parte del secado inicial este es opcional y si la superficie de las partículas de nuestra muestra ha sido conservada húmeda continuamente hasta el ensayo, el dato del secado inicial. Sobre la inmersión por  $24\text{ h} \pm 4\text{h}$ .
- Después sacar la muestra de ensayo del agua, colocarla sobre una toalla absorbente y con el mismo frotarla hasta que sea eliminada toda la lámina. Secar las partículas grandes individualmente. Tratar de que el agua se evapore desde los poros del agregado durante el tratamiento del secado superficial. Obtener la masa de la muestra de experimento en condición saturada superficialmente seca, anotar cada valor de las masas subsecuentes con una aproximación de 0.5 g o 0.05% de la masa de la muestra, el valor que sea mayor.
- A continuación de haber determinado la masa de aire, consecutivamente colocar nuestro espécimen saturado superficialmente seca en el recipiente para la muestra y obtener la masa aparente en agua a  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Eliminar todo el aire atrapado antes de determinar la masa mediante la agitación del recipiente mientras se lo sumerge.

- Colocar la muestra en el horno y secar a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , hasta conseguir una masa homogénea. Enfriar la muestra a temperatura ambiente al aire, entre 1 hora a 3 horas o hasta que el agregado se haya enfriado a una temperatura confortable para el manejo de la muestra (aproximadamente  $50^{\circ}\text{C}$ ) y obtener su masa.

A continuación, en la **Tabla 20** se detallan los datos y resultados obtenidos de la determinación del porcentaje y densidades de absorción del agregado grueso.

**Tabla 20**

*Determinación de densidades y porcentajes de absorción del agregado grueso.*

Agregado grueso			Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra en estado sss (g): A			2000	2000
Masa de la muestra sumergida en agua (g): B			1176	1186
Masa de la muestra al horno (g): C			1958	1961
Densidad relativa (estado sss): D <sub>sss</sub> (g/cm <sup>3</sup> )			2.43	2.46
Densidad relativa seca (estado seco): D <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )			2.38	2.41
Densidad relativa aparente: D (g/cm <sup>3</sup> )			2.50	2.53
Porcentaje de Absorción: P <sub>a</sub> (%)			2.15	1.99
D <sub>sss</sub> =	2.44	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa SSS	D <sub>sss</sub> =A/(A-B)
D <sub>s</sub> =	2.39	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa Seca	D <sub>s</sub> =C/(A-B)
D=	2.52	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa Aparente	D=C/(C-B)
P <sub>a</sub> =	2.07	%	Porcentaje de absorción	P <sub>a</sub> =((A-C)/C)*100

*Nota:* Se opta para este ensayo 2 muestras obteniendo el promedio para trabajar en la determinación de densidades y porcentajes.

### 3.4.2 Agregado fino – NTE INEN 856.

El método a continuación se realiza para la obtención de la densidad promedio en una muestra de agregado fino en laboratorio (excluyendo el volumen de vacíos entre moléculas del agregado fino), la gravedad específica o densidad relativa y de la

absorción del agregado fino en sus respectivos ensayos en el laboratorio siendo guiado por el laboratorista de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

En las próximas líneas se especifican los equipos y metodología del desarrollo técnico en el laboratorio utilizado en el proceso de ensayo de los agregados finos.

### **Equipos:**

- Báscula Helmac. – Báscula Helmac con serie 123456 que cumpla con una capacidad de 1 kg o más, con una sensibilidad de 0.1g o menos y una precisión de 0.1% del peso de la muestra del ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso para el respectivo ensayo. La característica diferente entre lecturas debe tener una precisión dentro del rango de 0.1g, en cualquier valor de 100g de carga.
- Picnómetro. – Uso con el procedimiento gravimétrico, matraz u otro contenedor apropiado, en el cual la muestra del agregado fino pueda ser observable fácilmente y en el cual el volumen contenido pueda ser legible en el rango de  $\pm 0.1 \text{ cm}^3$ . El volumen del contenedor lleno hasta la marca debe ser por lo menos 50% mayor que el requerido para acomodar la muestra de ensayo. Para una muestra de ensayo de 500g del agregado más fino, es adecuado un matraz o un recipiente de  $500 \text{ cm}^3$  de capacidad, adaptado con un picnómetro en la parte superior.
- Molde y compactador para ensayo de humedad superficial. – El molde de un material metálico debe de tener forma de cono truncado, con las siguientes dimensiones  $40 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interno superior,  $90 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro interno en la base y  $75 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.8mm. el compactador metálico debe tener una masa de  $340 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$  y una cara compactadora redonda y plana de  $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro.
- Horno de laboratorio. - Este instrumento debe de tener un tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .



## Desarrollo Técnico:

1. Elaboración de la muestra para el ensayo.
  - 1.1. Anexar la muestra en un recipiente adecuado y secarla en el horno a una temperatura de  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hasta tener una masa constante, dejarla que se enfríe hasta una temperatura que sea confortable para su manipulación (aproximadamente  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), luego tapara con agua, ya sea por inmersión o por incremento de agua, hasta obtener al menos 7% de humedad en el agregado fino y esperar que repose entre 4 h a 24 h.
  - 1.2. Eliminar el agua que tiene en exceso, evitando la pérdida del material fino, ampliar la muestra sobre una superficie completamente plana, no absorbente, expuesta a una corriente suave de aire caliente y manipular frecuentemente para asegurar el secado homogéneo en la muestra. Si se considera, se pueden utilizar equipos mecánicos, para poder lograr una condición saturada superficialmente seca. Continuar esta operación hasta que la muestra se aproxime a una variable de flujo libre. Seguir el procedimiento enumerado en el 1.3 para obtener como conocimiento si la humedad superficial todavía está presente en las partículas constituyentes del agregado fino. Realizar el primer ensayo para determinar cuando todavía existía agua superficial en la muestra.
  - 1.3. Seguir en el secado con movimiento de agitación constante y probar a intervalos frecuentes hasta que el ensayo indique que la muestra ha alcanzado la condición de superficie seca. Analizar si el primer ensayo de determinación de humedad superficial nos indica que la humedad no está presente en la superficie, significa que se ha secado más allá de la condición saturada superficialmente seca; en este caso, la unión integradamente de los agregados finos con algunos  $\text{cm}^3$  de agua y dejar que la muestra repose en un recipiente cubierto por 30 minutos. Luego reanudar el proceso de secado y ensayos de intervalos frecuentes hasta obtener el inicio de la condición de superficie seca.

1.4. Determinar la humedad superficial: Para este ensayo se debe mantener firme el molde sobre un lugar liso no absorbente, con un diámetro mayor hacia la parte inferior. Se coloca el molde en forma libre, una porción del árido fino parcialmente seco, hasta tener lleno colocando material adicional en la parte superior manteniendo recto el molde con las manos, compactar el agregado fino con 25 golpes ligeros del compactador mecánico. Cada caída debe aproximar 5mm sobre la superficie del agregado. Prevalecer que el dispositivo compactador caiga libre bajo la tracción de la gravedad en cada golpe. Ajustar la altura de inicio a la nueva elevación de la superficie. Remover el agregado fino que ha caído en la base y elevar el molde del ensayo verticalmente, si la humedad prevalece el agregado fino mantendrá la forma del molde del ensayo caso contrario se desplaza un poco eso cabe de indicar que ha alcanzado la condición de superficie seca.

A continuación, en la **Tabla 21** se extraen los resultados obtenidos de las densidades y el porcentaje de absorción del agregado fino.

**Tabla 21**

*Determinación de densidades y porcentaje de absorción del agregado fino*

Agregado fino			Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra seca al horno (g): A			492.1	489.8
Masa del picnómetro llenado con agua hasta la marca (g): B			1251	1251
Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua (g): C			1549.8	1546.6
Masa de la muestra en estado sss (g): S			500	500
Densidad relativa (estado sss): D <sub>sss</sub> (g/cm <sup>3</sup> )			2.49	2.45
Densidad relativa seca (estado seco): D <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )			2.45	2.40
Densidad relativa aparente: D (g/cm <sup>3</sup> )			2.55	2.52
Porcentaje de absorción: Pa (%)			1.61	2.08
D <sub>sss</sub> =	2.47	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa SSS	D <sub>sss</sub> =S/(B+S-C)
D <sub>s</sub> =	2.42	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa Seca	D <sub>s</sub> =A/(B+S-C)
D=	2.53	g/cm <sup>3</sup>	Densidad relativa Aparente	D=A/(B+A-C)
Pa=	1.84	%	Porcentaje de absorción	Pa=((S-A) / A) *100

*Nota:* Se opta para este ensayo 2 muestras obteniendo el promedio para trabajar en la determinación de densidades y porcentajes.

### 3.4.3 Determinación de contenido total de humedad NTE INEN 862.

Con la siguiente metodología de ensayo nos ayuda a determinar los valores de porcentaje de humedad evaporable por secado en la muestra de nuestros agregados, tanto la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros de los agregados.

#### Equipos:

- **Báscula Helmac.** – Instrumento mecánico digital con número de serie 123456 Helmac con precisión, que distribuya valores legibles y con una capacidad de sensibilidad de 0.1% de la carga del ensayo en cualquier tramo dentro del rango de uso de la muestra. Dentro del valor del 10% de la capacidad de la báscula que se utiliza para determinar la masa, precisión de carga debe tener precisión hasta de 0.1% de las diferencias entre muestras.
- **Horno Industrial Serproma.** – Fuente de evaporación con ventilador capaz de llegar a mantener temperaturas, de alrededor de  $105\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ . Cuando no se tiene, se puede utilizar otras fuentes de calor.
- **Recipientes de muestra.** - Instrumento de material resistente al calor constante, con volumen mayor al de la muestra para mantenerla sin peligro de que se riegue y con una forma que la profundidad no exceda en un quinto la dimensión lateral menor.
- **Agitador.** – Instrumento metálico de forma de una cuchara o espátula de metal de tamaño suficiente para la muestra.

#### Procedimiento:

1. Obtener la masa de la muestra teniendo en cuenta una aproximación de 0.1%.
2. Secado e la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor seleccionada, cuidando de no perder las partículas obtenidas. Un acelerado calentamiento puede provocar que las partículas se desintegren, resultando una

pérdida de la misma. Usar un horno de temperatura completamente controlada, cuando el calor excesivo afecten a las propiedades de nuestra muestra de agregados o cuando se requiera una mayor precisión.

3. La muestra seca completamente cuando el tiempo de calor ocasiona, o puede ocasionar, una pérdida adicional de la masa menor al porcentaje mencionado de 0.1%.
4. Obtener el valor de la masa de la muestra seca, con una aproximación de 0.1%, luego de que se haya enfriado lo suficiente como para no dañar la báscula utilizada para el ensayo.

Consecutivamente en la **Tabla 22** se asignan los resultados de los ensayos obtenidos de la determinación del contenido de humedad del agregado grueso y en la **Tabla 23** se observan y detallan los valores obtenidos del contenido de humedad del agregado fino.

**Tabla 22**

*Determinación del contenido total de humedad del agregado grueso.*

Agregado grueso		Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra húmeda (g): A		1000	1000
Masa de la muestra seca al horno (g): B		979.69	981.23
Humedad total (%): H		2.073	1.913
H=	<b>1.993</b> %	<b>Humedad total</b>	$H=(A-B) / B*100$

*Nota:* Se opta para este ensayo 2 muestras obteniendo el promedio para trabajar con la humedad del agregado grueso.

**Tabla 23**

*Determinación del contenido de humedad del agregado fino*

Agregado fino		Muestra 1	Muestra 2
Masa de la muestra húmeda (g): A		1000	1000
Masa de la muestra seca al horno (g): B		944	938.76
Humedad total (%): H		5.932	6.523
H=	<b>6.228</b> %	<b>Humedad total</b>	$H=(A-B) / B*100$

*Nota:* Se opta para este ensayo 2 muestras obteniendo el promedio para trabajar con la humedad del agregado fino.

### 3.4.4 Cemento.

Uno de los agregados principales a utilizar es el cemento en la presente investigación se trabajó con el cemento portland HOLCIM GU este cemento cumple con la norma NTE INEN 2380, Tanto en la muestra de control como en las mezclas con la implementación de nanosílice en sus diferentes porcentajes correspondientes. En las siguientes tablas se presenta las especificaciones técnicas del cemento portland utilizado para los ensayos.

#### Especificaciones técnicas:

En la **Tabla 24** se obtienen las especificaciones técnicas de los análisis químicos del cemento, en la **Tabla 25** se observa y se detalla la composición del cemento, **Tabla 26** muestra los análisis físicos del cemento y en la **Tabla 27** se observan los requisitos de los componentes minerales, estas especificaciones fueron proporcionadas por cemento portland Holcim Fuerte-Lafarge Holcim de acuerdo a las especificaciones de sus hojas técnicas.

**Tabla 24**

*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 <sub>3</sub> )	≤ 3.0	≤ 4.0	≤ 4.0

*Nota:* Muestra el análisis químico del cemento Holcim Tipo GU (Cemento Portland Holcim Fuerte- Lafarge Holcim, s.f.).

**Tabla 25**

*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:* Muestra la composición del cemento Holcim Tipo GU (Cemento Portland Holcim Fuerte- Lafarge Holcim, s.f.).

**Tabla 26***Análisis Físicos del cemento.*

	<b>Cemento Holcim Fuerte</b>	<b>RTCR 479:2015</b>	<b>ASTM C1157 GU</b>
<b>Contenido de aire, ASTM C185(máx.%)</b>	12.0	12.0	12.0
<b>Finura (superficie específica) ASTM C204(min.cm<sup>3</sup>/g)</b>	.	.	.
<b>Finura retenida malla 0,045 mm (No.325) ASTM C 430(máx.%)</b>	.	.	.
<b>Resistencia a la compresión ASTM C109 (min. MPa)</b>	<b>3 días</b>	13	13
	<b>7 días</b>	20	20
	<b>28 días</b>	28	28
<b>Fragua Vicat.</b>	<b>Inicial (máx., min)</b>	45	45
	<b>Final (Max, min)</b>	420	420
<b>Cambio a la autoclave, ASTM C151</b>	<b>Expansión(máx.%)</b>	0.8	0.8
	<b>Contracción(máx.%)</b>	0.8	0.8
<b>Expansión en barras de mortero 14 días, %máximo.</b>	0.02	0.02	.
<b>Falso Fraguado, % mínimo</b>	50	50	.

*Nota:* Muestra el análisis físico del cemento Holcim Tipo GU (Cemento Portland Holcim Fuerte- Lafarge Holcim, s.f.).

**Tabla 27***Requisitos de los componentes minerales*

	<b>Puzolana Holcim</b>	<b>Requisitos según ASTM C618</b>
<b>Contenido de minerales reactivos (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mínimo%.</b>	80.0	70.0
<b>% Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) máximo%</b>	2.0	4.0
<b>Contenido de humedad (máximo %)</b>	2.0	3.0
<b>Perdida de la ignición (máximo%)</b>	10.0	10.0
<b>Índice de actividad a 7 o 28 días (mínimo%)</b>	75	75

*Nota:* Muestra los requisitos de los componentes minerales del cemento Holcim Tipo GU (Cemento Portland Holcim Fuerte- Lafarge Holcim, s.f.).

### 3.4.5 Nanosílice

Aditivo de partículas nano finas de dióxido de silicio amorfo (SiO<sub>2</sub>). Estas nanopartículas tienen un tamaño nominal de 1 a 100nm, alta pureza y reactividad, una estructura cristalina acuosa. Este nanosílice es un gran reductor de agua, de alta actividad y puzolánica con cualidades de incrementar las propiedades mecánicas del hormigón. Estos con propiedades especificadas en la **Tabla 11** y **Tabla 12**. En la **Tabla 28** tenemos los porcentajes de hidratación del cemento con y sin nanosílice

obtenido de Salgado (2010). En la **Tabla 29** están las características químicas del Aerosil® 200 componente utilizado como nanosílice al tener un 99.8% de SiO<sub>2</sub>.

**Tabla 28**

*Porcentajes de hidratación del cemento con y sin nanosílice*

<b>Muestra</b>	<b>% hidratación a los 3 días</b>	<b>% hidratación a los 7 días</b>
<b>Pasta de cemento</b>	69.9	75.6
<b>Pasta de cemento + nanosílice</b>	82.2	90.7

*Nota:* Muestra los porcentajes de hidratación del cemento al implementarse o no el nanosílice (Salgado, 2010, p. 31).

**Tabla 29**

*Características típicas químicas del Aerosil® 200*

<b>Características</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
<b>Área superficial específica (BET)</b>	m <sup>2</sup> /g	175 - 225
<b>Valor de pH (al 4% de dispersión)</b>		3.7 - 4.5
<b>Pérdidas por secado, 2h a 105 °C*</b>	%	≤ 1.5
<b>Densidad compactada*</b>	g/L	Aprox. 50
<b>Contenido de SiO<sub>2</sub> (basado en el material sometido a ignición)</b>	%	>99.8

**\*Los datos representan valores típicos y no deben ser tomados como especificación**

*Nota:* La tabla muestra las principales características químicas del Aerosil® 200 (Suministro de Especialidades, 2020, p. 1).

### 3.4.6 Agua

Es el líquido fundamental para crear hormigones, el cual se utiliza en las plantas de hormigones dentro de la provincia, el agua debe de considerar las normas especificadas en la ASTM C-494 Tipo A y F. Recomendada para el uso de las mezclas en concretos de cemento hidráulico dentro de la provincia de Santa Elena.

## 3.5 Elaboración de las probetas para las diferentes alternativas de diseño de hormigón

Los diseños de las mezclas fueron realizados en el laboratorio de suelo INGEOTOP S.A. en la ciudad de Ballenita, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, con la ayuda y guía del laboratorista de la Universidad Estatal Península de Santa Elena carrera de Ingeniería Civil, se utilizó los especímenes cilíndricos de acero desmoldeable de 150mm de diámetro x 300mm de altura para los respectivos ensayos, en los que se implementaron los distintos porcentajes de nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>).

Primer paso, para la preparación de las mezclas es indispensable utilizar las basculas de diferentes capacidades para obtener los pesos de cada agregado de los materiales a utilizar dependiendo del diseño e las mezclas y las proporciones que se solicita para cada diseño de la mezcla de hormigón con su respectivo porcentaje dentro de los ensayos ejecutados en el laboratorio, en la **figura 3** se observa el uso de bascula para diseño y peso de los agregados.

A continuación, en la **figura 4** se observa la colocación de los agregados en la concretera de medio saco con 30 rpm del laboratorio dando así la obtención a la primera dosificación que es la muestra de control, y posteriormente se realizaran los diseños con la implementación del aditivo nanosílice en diferentes porcentajes.

Primero se adiciona el árido grueso. Seguido de la colocación del agregado grueso, se adiciona agua conjunta al árido fino y después se coloca el cemento incluyendo el resto de agua. Lentamente la mezcladora realiza su función hasta homogeneizarse como lo muestra la **figura 5**, teniendo de manera correcta la mezcla como lo muestra la **figura 6**.

**Figura 3**

*Uso de basculas para peso de los agregados*



**Figura 4**

*Colocación de materiales a la mezcladora.*





**Figura 5**  
Vaciado de la mezcla a la carreta



**Figura 6**  
Obtención de mezcla de hormigón.



A continuación, se muestran las dosificaciones de los diseños de hormigón utilizadas en cada mezcla, diseñadas con el método del ACI-211. Diseño realizado según la norma ACI-211.1. En la **Tabla 30** se detalla la dosificación de hormigón a 28 MPa.

En la **Tabla 31** tenemos la dosificación de hormigón a 24 MPa, y en la **Tabla 32** se da a conocer los valores de dosificación para un hormigón de 21 MPa.

**Tabla 30**  
Dosificación para hormigón de 28MPa resistencia de diseño.

Material	1 m <sup>3</sup>	Cantidad (kg)				
		MC	0.50%	1.0%	1.50%	2.0%
<b>Cemento Portland</b>	506.23	27.45	27.45	27.45	27.45	27.45
<b>Nanosílice</b>	0	0	0.137	0.275	0.413	0.549
<b>Agua</b>	193	9.99	9.99	9.99	9.99	9.99
<b>A. Grueso</b>	934.48	50.45	50.45	50.45	50.45	50.45
<b>A. Fino</b>	459.23	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62

*Nota:* Los valores obtenidos están relacionadas con el diseño del hormigón y la norma del ACI 211.1

**Tabla 31**  
Dosificación para hormigón de 24MPa resistencia de diseño.

Material	1 m <sup>3</sup>	Cantidad (kg)				
		MC	0.50%	1.0%	1.50%	2.0%
<b>Cemento Portland</b>	462.28	25.08	25.08	25.08	25.08	25.08
<b>Nanosílice</b>	0	0	0.125	0.251	0.376	0.502
<b>Agua</b>	193	9.94	9.94	9.94	9.94	9.94
<b>A. Grueso</b>	934.48	50.47	50.47	50.47	50.47	50.47
<b>A. Fino</b>	498.65	27.82	27.82	27.82	27.82	27.82

*Nota:* Los valores obtenidos están relacionadas con el diseño del hormigón y la norma del ACI 211.1

**Tabla 32***Dosificación para hormigón de 21MPa resistencia de diseño.*

Material	1 m <sup>3</sup>	Cantidad (kg)				
		MC	0.50%	1.0%	1.50%	2.0%
<b>Cemento Portland</b>	393.88	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4
<b>Nanosílice</b>	0	0	0.107	0.214	0.321	0.428
<b>Agua</b>	193	9.85	9.85	9.85	9.85	9.85
<b>A. Grueso</b>	934.48	50.54	50.54	50.54	50.54	50.54
<b>A. Fino</b>	559.35	31.24	31.24	31.24	31.24	31.24

*Nota:* Los valores obtenidos están relacionadas con el diseño del hormigón y la norma del ACI 211.1

Para diferenciar los diferentes diseños de mezclas ejecutadas, se realizó la siguiente terminología que se detalla a continuación:

1. Primer Diseño es la muestra de control con un porcentaje de 0% de nanosílice.
2. Segunda implementación se le coloca el 0.5% de Nanosílice agregado correspondiente con el porcentaje deducida por el cemento utilizado.
3. Tercera implementación se le coloca el 1.0% de Nanosílice agregado correspondiente con el porcentaje deducida por el cemento utilizado.
4. Cuarta implementación se le coloca el 1.5% de Nanosílice agregado correspondiente con el porcentaje deducida por el cemento utilizado.
5. Quinta implementación se le coloca el 2.0% de Nanosílice agregado correspondiente con el porcentaje deducida por el cemento utilizado.

### **3.6 Ensayo de revenimiento del hormigón en estado fresco**

El ensayo de cono de Abrams fue realizado en el laboratorio de suelo INGEOTOP S.A. en la ciudad de Ballenita con asistencia del laboratorista de la Universidad Estatal Península de Santa Elena y las debidas precauciones según la NTE INEN 1578 para los hormigones con cemento hidráulico.

En la **Figura 7** se observa que hay que determinar el asentamiento que sufre el mismo en estado fresco, este ensayo depende de factores como la forma de los agregados, su

tamaño nominal, granulometría, cantidad de agua y nanosílice utilizado y otras variables más. En la **Figura 8** se observa el asentamiento de un hormigón de 28 MPa.

En el proceso de fabricación de la mezcla de hormigón una vez obtenido la masa homogénea se escoge una parte de la muestra y se vierte en el molde del laboratorio de 150 mm de diámetro x 300 mm de altura **figura 17**, en tres capas, cada una aproximadamente un tercio del volumen de la probeta y con 25 varilladas por cada capa del ensayo para conseguir una compactación de la mezcla, se golpea 20 veces con un martillo de hule en cada capa y luego se enraza en la parte superior para eliminar los residuos, y antes de los 3 minutos se levanta verticalmente el cono de forma cuidadosa **figura 18**, dejando que la mezcla de hormigón se disperse de forma natural y se procede a tomar la medida del asentamiento que resulta de cada mezcla diseñada **figura 19**.

**Figura 7**

*Ensayo de revenimiento.*



**Figura 8**

*Asentamiento de hormigo de 28 MPa.*



### 3.7 Proceso de elaboración de los especímenes.

Para la creación y evaluación de las probetas o especímenes se emplearon los moldes cilíndricos metálicos grandes de 150mm x 300mm. Después de su uso, se limpian, engrasan y arman previamente para realizar varios ensayos al día. Se vacía el hormigón manualmente a razón de 3 capas iguales, para ser compactadas con una varilla de acero a 25 golpes por capa, golpeando los exteriores de las probetas con un martillo de goma a 10 veces por capa y luego enrazar el material sobrante. Los moldes se retiran 24 horas después de vaciado para ser utilizados en el próximo hormigón diseñado.

El curado de los especímenes es algo fundamental del ensayo, se realizó sumergiendo las probetas en la tina de curado los cuales se desmoldaron una vez que hayan pasado las 24 horas. El tiempo de curado se extendió hasta que el hormigón alcance las edades de 24 horas, 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días respectivamente.

**Norma empleada.** - NTE INEN 1576: Hormigón de cemento hidráulico. Fabricación y curado en obra de especímenes para respectivos ensayos a compresión en el laboratorio, a continuación, podemos observar en la **Figura 9** la mezcla y probetas siendo usadas para el diseño del hormigón. En la **Figura 10** nos muestra el vaciado de la mezcla en las probetas cada una para su respectivo ensayo y próximo desencofrado de especímenes de hormigón todo este ensayo debe ser ejecutado de manera concientizada para que las probetas obtengan las resistencias requeridas y los valores sean los esperados para la realización del diseño experimental y continuar con el trabajo de investigación.

En la **Figura 11** se tiene el vaciado del hormigón en capas siendo de 1/3 cada capa del total de vaciado, en la **Figura 12** se observa el varillado de la mezcla de hormigón con 25 golpes de manera perpendicular, en la **Figura 13** se observa que con un martillo de goma se golpea en cada capa dándole 10 golpes repartiéndolo de manera proporcional, en la **Figura 14** tenemos el enraizado del material para eliminar los excesos y grumos de la mezcla de hormigón, la **Figura 15** muestra el desencofrado de los especímenes después de 24 horas de su vaciado y ensayo de hormigón y en la **Figura 16** observamos el curado del hormigón en piscinas de agua al ambiente en el laboratorio.

**Figura 9**  
*Mezcla y probetas para el hormigón.*



**Figura 10**  
*Vaciado de Mezcla en probetas.*



**Figura 11**  
*Vaciado por capa del hormigón.*



**Figura 12**  
*Varillado del hormigón.*



**Figura 13**  
*Golpes con martillo de goma.*



**Figura 14**  
*Enrazado de mezcla sobrante.*



**Figura 15**  
*Desenfofrado a las 24 horas.*



**Figura 16**  
*Curado de las probetas.*



**Figura 17**  
*Ensayo de cono de Abrams*



**Figura 18**  
*Ensayo para medir asentamiento*



**Figura 19:**  
*Medición de Revenimiento en el hormigón diseñado.*



### 3.7.1 Ensayo de resistencia a la compresión

El siguiente ensayo es importante, se realizó siguiendo la normativa que plantea la norma ASTM C39 “Método de ensayo Normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”. Para el respectivo ensayo se fabrica 2 probetas cilíndricas de hormigón de 150mm x 300mm para cada tipo de mezclas y dosificación diseñada para ensayarlas a los 3, 7, 14, 28, 56 y 90 días.

El respectivo ensayo a compresión se lo realizó en la prensa hidráulica del laboratorio **Figura 20**, se preparó la muestra **figura 21**, colocando en la prensa **figura 22** y que la misma aplica una carga de manera continua y sin saltos de forma brusca, hasta que la probeta o espécimen llegue de manera permisible a la rotura **figura 23**, finalmente después de llegar a la rotura se adquieren los valores máximos de resistencias y la carga de rotura de cada probeta ensayada **figura 24**.

Finalmente, obtenido todos los cálculos de los ensayos pertinentes se procede a realizar la rotura de cada uno de los especímenes desarrollados para tener los datos y empezar analizar cada resultado obtenido en la compresión de los cilindros considerando que por los ensayos realizados a los 3, 7, 14 y 28 días y distintas dosificaciones diseñadas de 210 Kg/cm<sup>2</sup>., 240 Kg/cm<sup>2</sup> y 280Kg/cm<sup>2</sup> con la norma ACI 211.1.

**Figura 20**  
*Prensa hidráulica, ensayos de resistencia a compresión.*



**Figura 21**  
*Probeta lista para ensayo.*



**Figura 22**  
*Ensayo a compresión.*



**Figura 23**  
*Rotura de especímenes.*



**Figura 24**  
*Análisis de la rotura de los cilindros.*



### **3.8 Modelo matemático**

La obtención del modelo matemático se realiza con los datos obtenidos del diseño experimental, donde se trabajó con diferentes tipos de dosificaciones y distintas clases de porcentajes. Con el análisis de experimentos, determinamos la media muestral de cada ensayo, utilizando el análisis de varianza con el propósito de determinar si los datos son adecuados, ver el **Anexo 1**.

El modelo de regresión matemático se utiliza para pronosticar valores que no están dentro del rango seleccionado. Contar con gráficas de resultados obtenidos a los distintos porcentajes, ayudan a la evaluación del experimento, así se observaría con



mayor claridad el comportamiento del hormigón en fase de investigación de forma empírica.

El modelo matemático nos ayuda a estudiar el comportamiento y la evolución del hormigón en cada porcentaje de nanosílice. Los pasos a seguir para la creación del modelo fueron los siguientes:

- **Primero.** – Verificar si los datos del experimento obtenido son idóneos y se lo evalúa con el análisis de varianza. ver **Anexo 1**
- **Segundo.** – Creación del modelo matemático se utilizó las tablas de Excel.
- **Tercero.** - Crear grafica por dispersión en Excel.
- **Cuarto.** – Utilizar un modelo de segundo grado.
- **Quinto.** – Realizar la **Línea de Tendencia** del experimento.
- **Sexto.** - Obtenido la línea de tendencia, daremos paso a nuestro modelo matemático expresado en una ecuación potencial de segundo grado.
- **Séptimo.** - Finalizando con la colocación de  $R^2$ , que nos ayudara a la correlación de la información de los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo, se analizarán los resultados obtenidos del diseño experimental en la obtención de las probetas de hormigón con la incorporación del nanosílice (Nano-SiO<sub>2</sub>) en porcentajes de 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% a los hormigones convencionales con dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup>, 240 kg/cm<sup>2</sup>, 280 kg/cm<sup>2</sup> y su respectiva muestra de control.

El principal objetivo del presente capítulo es analizar el proceder de las propiedades mecánicas a compresión de un diseño de hormigón convencional con cemento Portland de uso general (GU), implementando nanosílice en pequeños porcentajes con respecto al agregado del cemento.

A continuación, se detallan los valores obtenidos en los cálculos realizados de acuerdo a su respectiva dosificación, implementación de nanosílice y días de roturas.

## 4.1 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>

### 4.1.1 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Muestra de Control o Patrón

**Tabla 33**

*Dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> Patrón*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
<b>Patrón</b> $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	17/09/21	15.013	15.088	15.0505	30.067	1777.4612	12.409	
	2	17/09/21	15.139	15.090	15.1145	30.040	1785.2570	12.600	
	1	17/09/21	15.030	15.202	15.1160	29.954	1781.3858	12.448	
	2	17/09/21	15.129	15.197	15.1630	30.126	1796.2375	11.830	
	1	17/09/21	15.251	15.184	15.2175	30.125	1803.9486	12.779	
	2	17/09/21	15.085	15.061	15.0730	30.028	1778.8044	12.722	
<b>revenimiento</b>	10cm	1	17/09/21	15.179	15.197	15.1880	30.240	1805.2350	11.921
<b>Esfuerzo de diseño</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	17/09/21	15.036	15.070	15.0530	30.067	1777.8156	11.727

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 33**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha		Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
<b>Patrón</b> $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	20/09/21	3	169.20	9.57	3	
	2	20/09/21	3	150.80	8.59		
	1	24/09/21	7	243.40	13.77	7	
	2	24/09/21	7	235.20	13.31		
	1	01/10/21	14	356.90	20.20	14	
	2	01/10/21	14	328.50	18.59		
<b>revenimiento</b>	10 cm	1	15/10/21	28	379.70	21.49	
<b>Esfuerzo de diseño</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	15/10/21	28	359.30	20.33	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 33**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días			
		%	prom.					
<b>Patrón</b> $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	43.24	9.08	8.40	40	%	3	
	2							
	1	69.85	13.54	12.60	65	%	7	
	2							
	1	92.36	19.395	18.90	90	%	14	
	2							
<b>revenimiento</b>	10 cm	1						
<b>Esfuerzo de diseño</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	99.57	20.91	20.79	99	%	28

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en el patrón de la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.2 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 0.5%

**Tabla 34**

*Dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 0.5%*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso		
			D1	D2	prom.					
<b>Nanosílice 0.5%</b> $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	04/10/21	15.095	15.180	15.1375	29.970	1785.1917	12.544		
	2	04/10/21	15.124	15.151	15.1375	30.048	1788.9010	12.593		
	1	04/10/21	15.135	15.121	15.1280	29.990	1784.7961	12.598		
	2	04/10/21	15.041	15.090	15.0655	29.926	1772.9142	12.347		
	1	04/10/21	15.126	15.248	15.1870	30.122	1799.4623	12.603		
	2	04/10/21	15.181	15.170	15.1755	29.945	1789.3870	12.506		
	<b>revenimiento</b>	10cm	1	04/10/21	14.968	15.081	15.0245	29.913	1766.5081	12.466
	<b>Esfuerzo de diseño</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/10/21	15.160	15.008	15.0840	30.110	1784.2490	12.554

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 34**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 0.5% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	07/10/21	3	267.20	15.12	3	
	2	07/10/21	3	204.80	11.59		
	1	11/10/21	7	355.80	20.14	7	
	2	11/10/21	7	344.20	19.48		
	1	18/10/21	14	408.00	23.09	14	
	2	18/10/21	14	421.00	23.82		
revenimiento	10cm	1	04/11/21	28	441.40	24.98	
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/11/21	28	451.00	25.52	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 34**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 0.5% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	63.60	13.355	8.40	40	%	3	23.60	
	2								
	1	102.19	19.810	12.60	65	%	7	37.19	
	2								
	1	111.69	23.455	18.90	90	%	14	21.69	
	2								
revenimiento	10 cm	1	120.24	25.250	20.79	99	%	28	21.24
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2							

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 0.5% de la dosificación  $f'_c 210 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.1.3 Dosificación $f'_c 210 \text{ Kg/cm}^2$ . Nanosílice al 1.0%

**Tabla 35**

*Dosificación  $f'_c 210 \text{ kg/cm}^2$  Nanosílice al 1%*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	06/10/21	15.198	15.296	15.2470	29.960	1800.2487	12.227	
	2	06/10/21	15.283	15.122	15.2025	29.960	1793.9318	12.240	
	1	06/10/21	15.180	15.056	15.1180	30.029	1785.2311	12.153	
	2	06/10/21	15.278	15.044	15.1610	30.058	1792.7141	12.300	
	1	06/10/21	15.210	15.291	15.2505	30.040	1804.5787	12.196	
	2	06/10/21	15.197	15.266	15.2315	29.932	1796.7079	12.226	
revenimiento	10cm	1	06/10/21	15.244	15.118	15.1810	30.010	1793.2667	12.347
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	06/10/21	15.106	15.115	15.1105	29.966	1781.1768	12.125

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 35**

Identificación del cilindro	№	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 1.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	09/10/21	3	147.20	8.33	3	
	2	09/10/21	3	191.20	10.82		
	1	13/10/21	7	223.30	12.64	7	
	2	13/10/21	7	247.00	13.98		
	1	20/10/21	14	353.50	20.00	14	
	2	20/10/21	14	356.90	20.20		
revenimiento	10cm	1	04/11/21	28	376.70	21.32	
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/11/21	28	418.80	23.70	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 35**

Identificación del cilindro	№	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1/2	45.60	9.575	8.40	40 %	3	5.60		
	1/2	68.66	13.31	12.60	65 %	7	3.66		
	1/2	95.71	20.10	18.90	90 %	14	5.71		
	revenimiento	10 cm	1						
	Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	107.19	22.51	20.79	99 %	28	8.19

Nota: Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.0% de la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.5%

**Tabla 36**

Dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5%

Identificación del cilindro	№	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.5% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	12/10/21	15.163	15.208	15.1855	30.036	1795.1460	11.750	
	2	12/10/21	15.114	15.108	15.1110	29.995	1782.6243	11.576	
	1	12/10/21	15.080	15.148	15.1140	30.020	1784.2365	11.758	
	2	12/10/21	15.047	15.290	15.1685	30.095	1795.5428	11.835	
	1	12/10/21	15.235	15.137	15.1860	30.005	1793.7381	11.844	
	2	12/10/21	15.044	15.071	15.0575	29.955	1773.1554	11.716	
revenimiento	10cm	1	12/10/21	14.995	15.091	15.0430	29.911	1769.0258	11.514
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	12/10/21	15.180	15.148	15.1640	29.988	1789.8056	11.894

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 36**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
Nanosílice 1.5% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	15/10/21	3	223.30	12.64	3
	2	15/10/21	3	235.10	13.31	
	1	19/10/21	7	273.30	15.47	7
	2	19/10/21	7	269.10	15.23	
	1	26/10/21	14	341.60	19.33	14
	2	26/10/21	14	376.70	21.32	
revenimiento	10cm	1	11/11/21	28	472.30	26.72
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	481.60	27.25

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 36**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.5% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	61.79	12.975	8.40	40	%	3	21.79	
	2								
	1	79.19	15.350	12.60	65	%	7	14.19	
	2								
	1	96.79	20.325	18.90	90	%	14	6.79	
	2								
revenimiento	10 cm	1							
Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	128.50	26.985	20.79	99	%	28	29.50

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.5% de la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.5 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 2.0%

**Tabla 37**

*Dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0%*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso		
			D1	D2	prom.					
Nanosílice 2.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	14/10/21	15.264	15.055	15.1595	30.070	1793.0726	11.641		
	2	14/10/21	15.062	15.216	15.1390	30.274	1799.8627	11.514		
	1	14/10/21	15.125	15.029	15.0770	30.034	1779.6554	11.525		
	2	14/10/21	15.215	15.168	15.1915	30.004	1794.4712	11.634		
	1	14/10/21	15.068	15.288	15.1780	29.927	1788.8831	11.557		
	2	14/10/21	15.059	15.102	15.0805	30.001	1778.5880	11.466		
	revenimiento	10cm	1	14/10/21	15.202	15.180	15.1910	30.002	1794.3048	11.511
	Esfuerzo de diseño	210 kg/cm <sup>2</sup>	2	14/10/21	15.188	15.073	15.1305	29.979	1784.6276	11.463

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 37**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
Nanoslice 2.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1	17/10/21	3	83.10	4.71	3
	2	17/10/21	3	141.70	8.02	
	1	21/10/21	7	98.60	5.58	7
	2	21/10/21	7	116.30	6.58	
	1	28/10/21	14	133.90	7.58	14
	2	28/10/21	14	135.90	7.69	
revenimiento 10cm	1	11/11/21	28	151.10	8.55	28
Esfuerzo de diseño 210 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	144.16	8.18	

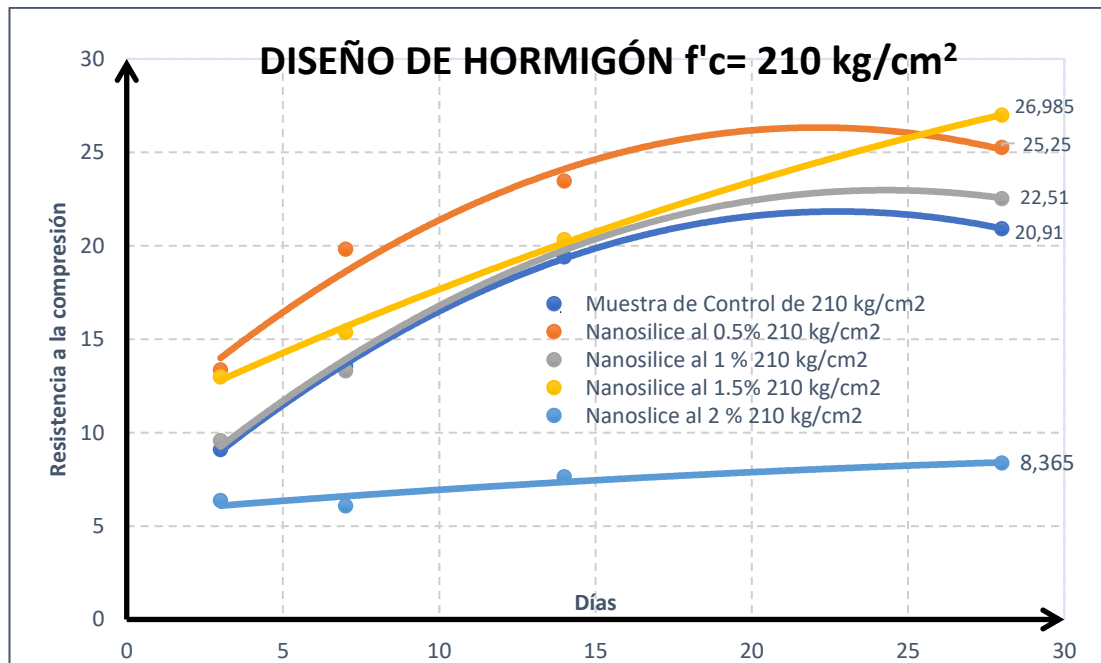
Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 37**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanoslice 2.0% $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	1/2	30.31	6.365	8.40	40	%	3	-9.69	
	1/2	31.37	6.080	12.60	65	%	7	-33.63	
	1/2	36.36	7.635	18.90	90	%	14	-53.64	
	revenimiento 10 cm	1							
	Esfuerzo de diseño 210 kg/cm <sup>2</sup>	2	39.83	8.365	20.79	99	%	28	-59.17

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanoslice al 2.0% de la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

### Gráfico 3

Representación de la gráfica de diseño de hormigón  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>



*Nota:* Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanoslice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.1.6 Análisis por porcentaje. Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a los datos obtenidos de los cálculos realizados en la **Tabla 33**, en la muestra de control o patrón se obtiene satisfactoriamente un hormigón de  $f'_c = 209.1$  kg/cm<sup>2</sup> el cual está diseñado para  $f'_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Observando el **Gráfico 3** en la representación de la gráfica de diseño de hormigón  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> y en relación con los resultados finales en la **Tabla 34** y la **Tabla 36**, con la implementación de nanosílice al 0.5% ( $f'_c = 269.85$  kg/cm<sup>2</sup>) se obtiene mejor resistencia a la compresión, mientras que, la implementación de nanosílice al 1.5 % ( $f'_c = 252.5$  kg/cm<sup>2</sup>) es el segundo diseño que mejor resistencia obtiene.

La implementación de nanosílice al 1.0% ( $f'_c = 225.1$  kg/cm<sup>2</sup>) con resultados finales en la **Tabla 35** obtiene un mejoramiento mínimo en resistencia a compresión del hormigón según el diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que al 2.0% de adición de nanosílice **Tabla 37** se obtiene un  $f'_c = 83.65$  kg/cm<sup>2</sup> convirtiéndose en el porcentaje que disminuye la resistencia a compresión según el diseño de hormigón requerido.

Se deduce entonces que al 0.5% y 1.5% de implementación de nanosílice es donde más aumenta y mejor resistencia a la compresión obtiene nuestro  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>, al 1.0% de implementación el aumento es mínimo, y al 2.0% de implementación de nanosílice es donde menos desempeño obtiene nuestro diseño perdiendo una notable resistencia a la compresión.

#### 4.1.7 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días

**Tabla 38**  
Resistencia a los 3 días  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosílice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$	
	1	2					
0%	9.57	8.59	18.16	9.08	91.5849	73.79	329.79
0.5%	15.12	11.59	26.71	13.36	228.6144	134.33	713.42
1.0%	8.33	10.82	19.15	9.58	69.3889	117.07	366.72
1.5%	12.64	13.31	25.95	12.98	159.7696	177.16	673.40
2.0%	4.71	8.02	12.73	6.37	22.1841	64.32	162.05

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> al tercer día.



#### 4.1.8 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días

**Tabla 39**

Resistencia a los 7 días  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$
	1	2				
0%	13.77	13.31	27.08	13.54	189.6129	177.16
0.5%	20.14	19.48	39.62	19.81	405.6196	379.47
1.0%	12.64	13.98	26.62	13.31	159.7696	195.44
1.5%	15.47	15.23	30.70	15.35	239.3209	231.95
2.0%	5.58	6.58	12.16	6.08	31.1364	43.30

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> al séptimo día.

#### 4.1.9 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días

**Tabla 40**

Resistencia a los 14 días  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$
	1	2				
0%	20.20	18.59	38.79	19.40	408.0400	345.59
0.5%	23.09	23.82	46.91	23.46	533.1481	567.39
1.0%	20.00	20.20	40.20	20.10	400.00	408.04
1.5%	19.33	21.32	40.65	20.33	373.6489	454.54
2.0%	7.58	7.69	15.27	7.64	57.4564	59.14

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días.

#### 4.1.10 Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días

**Tabla 41**

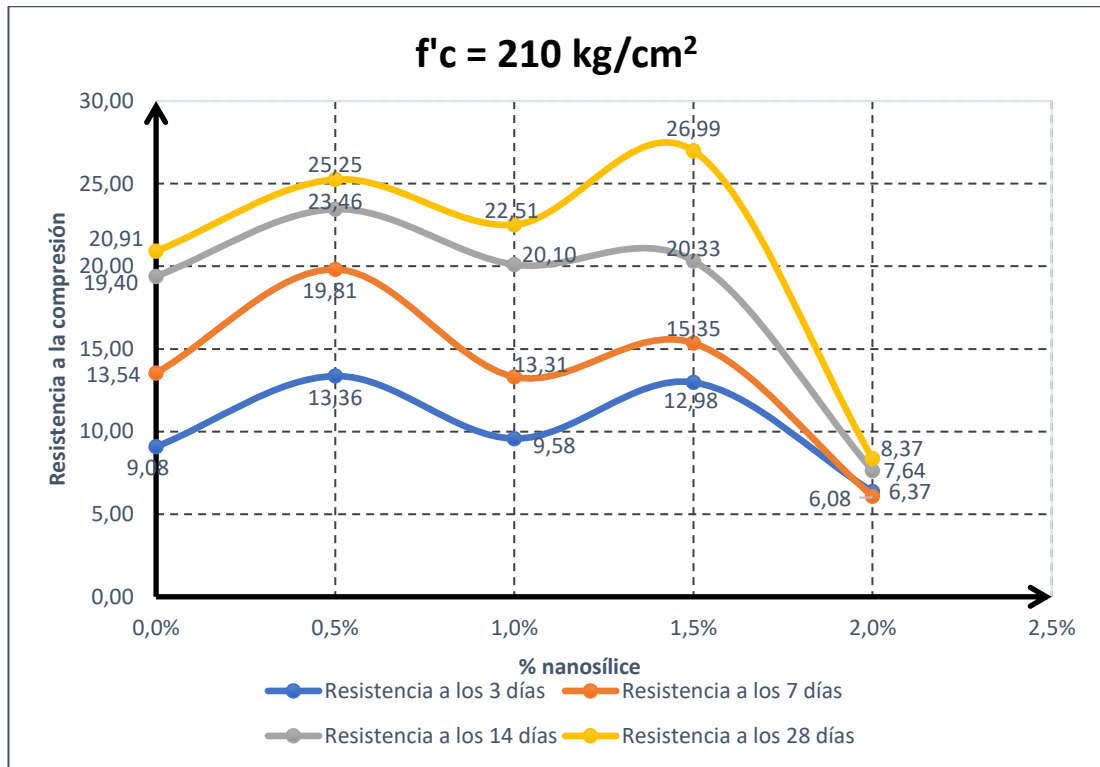
Resistencia a los 28 días  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$
	1	2				
0%	21.49	20.33	41.82	20.91	461.8201	413.31
0.5%	24.98	25.52	50.50	25.25	624.0004	651.27
1.0%	21.32	23.70	45.02	22.51	454.5424	561.69
1.5%	26.72	27.25	53.97	26.99	713.9584	742.56
2.0%	8.55	8.18	16.73	8.37	73.1025	66.91

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

#### Gráfico 4

Dosificación  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas



Nota: Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanosílice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, a los 3, 7, 14 y 28 días.

#### 4.1.11 Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 210 Kg/cm<sup>2</sup>

Se observa en el **Gráfico 4** y la **Tabla 38** que al tercer día el diseño de hormigón de 210 kg/cm<sup>2</sup> los porcentajes de mejores resultados y donde más aumenta la resistencia a la compresión son: el 0.5% y el 1.5%, mientras que el 2.0% es el porcentaje de implementación que reduce la resistencia a la compresión. Cuando se aumenta el 1.0% de nanosílice a nuestro diseño presenta un aumento mínimo en la resistencia a la compresión.

Se observa en la **Tabla 39** que al séptimo día la implementación de nanosílice al 0.5% es satisfactoria y es la que mayor resistencia a la compresión consigue, al 1.0% se produce una disminución mínima de resistencia, al 1.5% existe un pequeño aumento con relación al tercer día que se obtuvo un aumento de resistencia alto. Mientras que al 2.0% de implementación de nanosílice la tendencia de pérdida de resistencia a la compresión se mantiene y se muestra por debajo de la resistencia obtenida en el día 3.

Se observa en la **Tabla 40** que a los 14 días la implementación de nanosílice al 0.5% es el porcentaje que mayor resistencia a la compresión obtiene, en el 1.0% y 1.5% se produce un aumento mínimo en la resistencia de nuestro diseño comparado con los días anteriores. El 2.0% sigue siendo el porcentaje que produce pérdida en la resistencia a la compresión en nuestro  $f'_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Hasta el día 14 la muestra de control cumple satisfactoriamente los requisitos para obtener la resistencia a la compresión de diseño deseada.

Se observa en la **Tabla 41** y el **Gráfico 4** que a los 28 días la resistencia a la compresión obtenida  $f'_c$  209,10 kg/cm<sup>2</sup> es satisfactoria y cumple con la resistencia a la compresión  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> requerida y diseñada. El 1.5% es el porcentaje que mayor resistencia obtiene, el 0.5% de implementación de nanosílice continúa con su tendencia de aumentar la resistencia y es el segundo porcentaje que mayor resistencia obtiene, mientras que el 1.0% sigue aumentando la resistencia mínimamente con relación a la muestra de control. El 2.0% es el porcentaje que produce una gran disminución de resistencia a la compresión, representa pérdida en la resistencia según el diseño  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>.

## 4.2 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>

### 4.2.1 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>. Muestra de Control o Patrón

**Tabla 42**

*Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> Patrón*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
<b>Patrón</b> $f'_c = 240$ kg/cm <sup>2</sup>	1	17/09/21	15.112	15.131	15.1215	30.059	1787.1527	12.613	
	2	17/09/21	15.138	15.064	15.1010	29.867	1775.1349	12.485	
	1	17/09/21	15.031	15.045	15.0380	30.067	1775.6897	12.504	
	2	17/09/21	15.138	15.308	15.2230	30.000	1798.7541	12.662	
	1	17/09/21	15.136	15.167	15.1515	30.049	1790.9363	12.516	
	2	17/09/21	15.174	15.257	15.2155	30.144	1804.5720	12.695	
<b>revenimiento</b>	10cm	1	17/09/21	15.231	15.200	15.2155	30.033	1799.2660	12.617
<b>Esfuerzo de diseño</b>	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	17/09/21	15.165	15.176	15.1705	30.038	1793.1107	12.510

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 42**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
<b>Patrón</b> $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	20/09/21	3	141.70	8.02	3
	2	20/09/21	3	285.70	16.17	
	1	24/09/21	7	294.40	16.66	7
	2	24/09/21	7	304.50	17.23	
	1	01/10/21	14	470.40	26.62	14
	2	01/10/21	14	328.50	18.59	
<b>revenimiento</b> 10cm	1	15/10/21	28	497.50	28.15	28
<b>Esfuerzo de diseño</b> 240 kg/cm <sup>2</sup>	2	15/10/21	28	397.70	22.50	

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 42**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días		
		%	prom.				
<b>Patrón</b> $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	50.40	12.095	9.60	40	%	3
	2						
	1	70.60	16.945	15.60	65	%	7
	2						
	1	94.19	22.605	21.60	90	%	14
	2						
<b>revenimiento</b> 10 cm	1	105.52	25.325	23.76	99	%	28
<b>Esfuerzo de diseño</b> 240 kg/cm <sup>2</sup>	2						

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en el patrón de la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 0.5%

**Tabla 43**

Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 0.5 %

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
<b>Nanosílice 0.5%</b> $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	01/10/21	15.068	15.163	15.1155	29.995	1783.2620	12.139	
	2	01/10/21	15.182	15.148	15.1650	30.110	1795.7598	12.483	
	1	01/10/21	15.126	15.134	15.1300	29.995	1785.3172	12.260	
	2	01/10/21	15.182	15.113	15.1475	29.933	1784.8482	12.395	
	1	01/10/21	15.143	15.115	15.1290	30.016	1786.1736	12.203	
	2	01/10/21	15.109	15.151	15.1300	30.152	1792.7798	12.477	
	<b>revenimiento</b> 10cm	1	01/10/21	15.916	15.148	15.5320	30.102	1847.7861	12.456
	<b>Esfuerzo de diseño</b> 240 kg/cm <sup>2</sup>	2	01/10/21	15.176	15.159	15.1675	30.061	1793.7805	12.641

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 43**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 0.5% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	04/10/21	3	229.50	12.99	3	
	2	04/10/21	3	334.30	18.92		
	1	07/10/21	7	330.70	18.71	7	
	2	07/10/21	7	324.10	18.34		
	1	18/10/21	14	337.30	19.09	14	
	2	18/10/21	14	483.70	27.37		
revenimiento	10cm	1	04/11/21	28	510.90	28.91	
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/11/21	28	505.70	28.62	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 43**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 0.5% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	$\frac{1}{2}$	66.48	15.955	9.60	40 %	3	26.48		
	$\frac{1}{2}$	77.19	18.525	15.60	65 %	7	12.19		
	$\frac{1}{2}$	96.79	23.230	21.60	90 %	14	6.79		
	revenimiento	10 cm	1						
	Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	119.85	28.765	23.76	99 %	28	20.85

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 0.5% de la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.3 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.0%

**Tabla 44**

Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.0%

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	06/10/21	15.062	15.101	15.0765	29.941	1775.1797	11.980	
	2	06/10/21	15.226	15.165	15.1955	30.092	1799.2402	12.380	
	1	06/10/21	15.151	15.188	15.1695	30.001	1791.2053	12.068	
	2	06/10/21	15.195	14.864	15.0295	29.984	1770.5664	12.158	
	1	06/10/21	15.169	15.270	15.2195	30.081	1802.1297	12.157	
	2	06/10/21	15.230	15.240	15.2350	29.993	1800.1241	12.457	
revenimiento	10cm	1	06/10/21	15.233	15.165	15.1990	30.053	1797.8760	12.460
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	06/10/21	15.050	15.043	15.0465	30.015	1774.4362	12.090

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 44**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
Nanosílice 1.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	20/09/21	3	286.10	16.19	3
	2	20/09/21	3	218.60	12.37	
	1	24/09/21	7	317.70	17.98	7
	2	24/09/21	7	341.80	19.34	
	1	01/10/21	14	376.80	21.32	14
	2	01/10/21	14	431.00	24.39	
revenimiento	10cm	1	15/10/21	28	561.80	26.13
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	15/10/21	28	504.10	28.52

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 44**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	$\frac{1}{2}$	59.50	14.280	9.60	40 %	3	19.50		
	$\frac{1}{2}$	77.75	18.660	15.60	65 %	7	12.75		
	$\frac{1}{2}$	95.23	22.855	21.60	90 %	14	5.23		
	revenimiento	10 cm	1						
	Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	113.85	27.325	23.76	99 %	28	14.85

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.0% de la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.5%

**Tabla 45**

Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5%

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.5% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	12/10/21	15.104	15.154	15.129	30.014	1786.0785	11.600	
	2	12/10/21	15.194	15.047	15.121	30.024	1785.3482	11.906	
	1	12/10/21	15.148	15.059	15.104	29.873	1775.7728	11.741	
	2	12/10/21	15.070	15.130	15.100	29.903	1776.7014	11.640	
	1	12/10/21	15.100	15.065	15.083	30.191	1787.8741	11.766	
	2	12/10/21	15.212	15.148	15.180	29.918	1788.7373	11.846	
revenimiento	10cm	1	12/10/21	14.995	15.091	15.043	29.911	1769.0258	11.514
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	12/10/21	15.180	15.148	15.164	29.988	1789.8056	11.894

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 45**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 1.5% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	15/10/21	3	328.50	18.59	3	
	2	15/10/21	3	205.10	11.61		
	1	19/10/21	7	322.80	18.27	7	
	2	19/10/21	7	356.90	20.20		
	1	26/10/21	14	414.80	23.47	14	
	2	26/10/21	14	470.40	26.62		
revenimiento	10cm	1	11/11/21	28	472.30	26.72	
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	529.80	29.98	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 45**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.5% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	62.92	15.100	9.60	40	%	3	22.92	
	2								
	1	80.15	19.235	15.60	65	%	7	15.15	
	2								
	1	104.35	25.045	21.60	90	%	14	14.35	
	2								
revenimiento	10 cm	1							
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	118.13	28.350	23.76	99	%	28	19.13

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.5% de la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.5 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 2.0%

**Tabla 46**

Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0%

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 2.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	14/10/21	15.175	15.148	15.1615	29.903	1785.4023	11.597	
	2	14/10/21	15.163	15.235	15.1990	29.949	1792.9100	11.527	
	1	14/10/21	15.111	15.115	15.1130	29.983	1782.3379	11.398	
	2	14/10/21	15.166	15.151	15.1585	30.040	1791.5018	11.56	
	1	14/10/21	14.997	15.062	15.0295	30.192	1780.3874	11.361	
	2	14/10/21	15.130	15.297	15.2135	29.977	1796.3052	11.536	
revenimiento	10cm	1	14/10/21	14.970	15.037	15.0035	29.901	1762.9785	11.381
Esfuerzo de diseño	240 kg/cm <sup>2</sup>	2	14/10/21	14.968	15.054	15.0110	29.896	1763.8008	11.244

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 46**

Identificación del cilindro	№	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
Nanosílice 2.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	17/10/21	3	99.20	5.61	3
	2	17/10/21	3	91.30	5.16	
	1	21/10/21	7	84.30	4.77	7
	2	21/10/21	7	130.40	7.38	
	1	28/10/21	14	53.60	3.03	14
	2	28/10/21	14	205.10	11.61	
revenimiento 10cm	1	11/11/21	28	183.60	10.39	28
Esfuerzo de diseño 240 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	112.00	6.34	

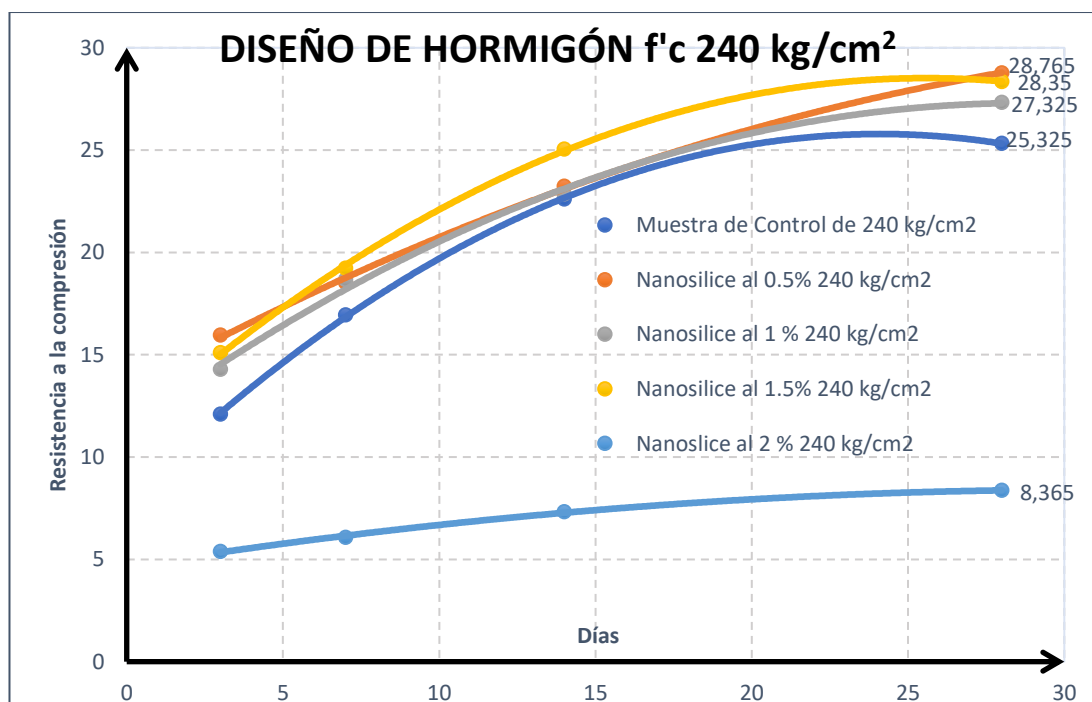
Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 46**

Identificación del cilindro	№	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta		
		%	prom.					
Nanosílice 2.0% $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$	1	22.44	5.385	9.60	40	%	3	-17.56
	2							
	1	25.31	6.075	15.60	65	%	7	-39.69
	2							
	1	30.50	7.320	21.60	90	%	14	-59.50
	2							
revenimiento 10 cm	1	34.85	8.365	23.76	99	%	28	-64.15
Esfuerzo de diseño 240 kg/cm <sup>2</sup>	2							

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 2.0% de la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

### Gráfico 5

Representación gráfica de diseño de hormigón  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>



*Nota:* Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanosílice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.



#### 4.2.6 Análisis Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a los datos obtenidos de los cálculos realizados en la muestra de control o patrón **Tabla 42** se obtiene satisfactoriamente un hormigón de  $f'_c = 253.25$  kg/cm<sup>2</sup> el cual está diseñado para  $f'_c$  de 240 kg/cm<sup>2</sup>.

Observando el **Gráfico 5** gráfica de diseño de hormigón  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> y en relación a los resultados finales de la **Tabla 45** y **Tabla 43**, con la implementación de nanosílice al 1.5% ( $f'_c = 287.65$  kg/cm<sup>2</sup>) se obtiene el máximo nivel de mejoramiento a la resistencia a la compresión, mientras que, la implementación de nanosílice al 0.5 % ( $f'_c = 283.5$  kg/cm<sup>2</sup>) es el segundo diseño que mejor resistencia obtiene.

La implementación de nanosílice al 1.0% ( $f'_c = 273.25$  kg/cm<sup>2</sup>) **Tabla 44** obtiene un buen mejoramiento en la resistencia a la compresión del hormigón según el diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que al 2.0% de adición de nanosílice **Tabla 46** se obtiene un  $f'_c = 83.65$  kg/cm<sup>2</sup> convirtiéndose en el porcentaje que disminuye la resistencia a la compresión según el diseño de hormigón requerido.

Se deduce entonces que al 1.5% y 0.5% de implementación de nanosílice es donde más aumenta y mejor resistencia a la compresión obtiene nuestro  $f'_c = 240$  kg/cm<sup>2</sup>, al 1.0% de implementación el aumento es bueno, y al 2.0% de implementación de nanosílice es donde menos desempeño obtiene nuestro diseño perdiendo una notable resistencia a la compresión.

#### 4.2.7 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días

**Tabla 47**  
Resistencia a los 3 días  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosílice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$	
	1	2					
0%	8.02	16.17	24.19	12.10	64.3204	261.47	585.16
0.5%	12.99	18.92	31.91	15.96	168.7401	357.97	1018.25
1.0%	16.19	12.37	28.56	14.28	162.1161	153.02	815.67
1.5%	18.59	11.61	30.20	15.10	345.5881	134.79	912.04
2.0%	5.61	5.16	10.77	5.39	31.4721	26.63	115.99

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> al tercer día.

#### 4.2.8 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días

**Tabla 48**

Resistencia a los 7 días  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilíce	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$	
	1	2					
	0%	16.66					17.23
0.5%	18.71	18.34	37.05	18.53	350.0641	336.36	1372.70
1.0%	17.98	19.34	37.32	18.66	323.2804	374.04	1392.78
1.5%	18.27	20.20	38.47	19.24	333.7929	408.04	1479.94
2.0%	4.77	7.38	12.15	6.08	22.7529	54.46	147.62

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> al séptimo día.

#### 4.2.9 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días

**Tabla 49**

Resistencia a los 14 días  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilíce	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$	
	1	2					
	0%	26.62					18.59
0.5%	19.09	27.37	46.46	23.23	364.4281	749.12	2158.53
1.0%	21.32	24.39	45.71	22.86	454.5424	594.87	2089.40
1.5%	23.47	26.62	50.09	25.05	550.8409	708.62	2509.01
2.0%	3.03	11.61	14.64	7.32	9.1809	134.79	214.33

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días.

#### 4.2.10 Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días

**Tabla 50**

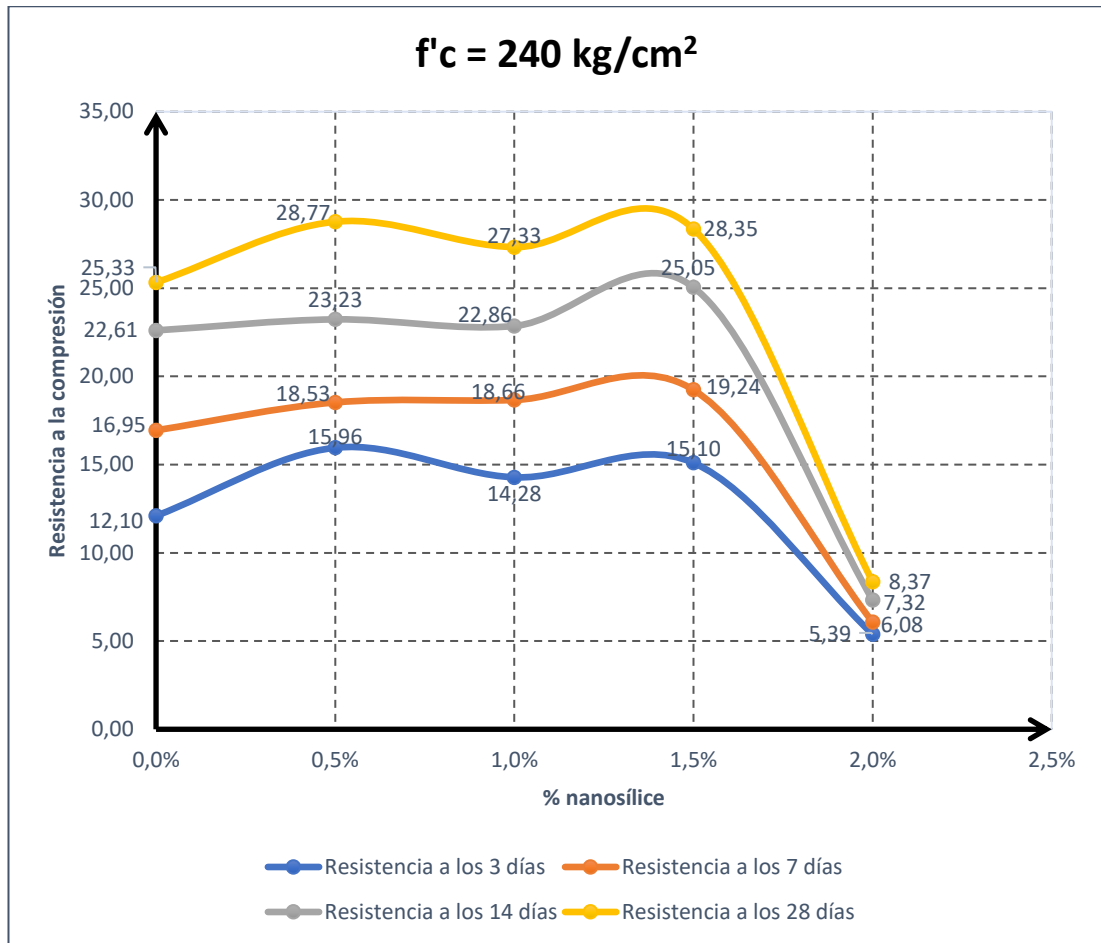
Resistencia a los 28 días  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilíce	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$	
	1	2					
	0%	28.15					22.50
0.5%	28.91	28.62	57.53	28.77	835.7881	819.10	3309.70
1.0%	26.13	28.52	54.65	27.33	682.7769	813.39	2986.62
1.5%	26.72	29.98	56.70	28.35	713.9584	898.80	3214.89
2.0%	10.39	6.34	16.73	8.37	107.9521	40.20	279.89

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

**Gráfico 6**

Dosificación  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas



Nota: Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanosílice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>, a los 3, 7, 14 y 28 días.

#### 4.2.11 Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 240 Kg/cm<sup>2</sup>

Según los datos obtenidos en la **Tabla 47** y observando el **Gráfico 6** al tercer día los porcentajes de implementación de nanosílice del: 0.5%, 1.0% y 1.5% presentan un mejoramiento satisfactorio alcanzando una resistencia a la compresión obtenido superior a la resistencia  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> diseñada, mientras que el 2.0% de adición de nanosílice produce una pérdida haciendo que la resistencia a la compresión del hormigón sea baja con relación a la muestra o patrón de diseño.

Según los datos de la **Tabla 48** la resistencia a la compresión del hormigón  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> en el séptimo día presenta un aumento de resistencia mínima en la implementación de nanosílice al 0.5% y 1.0%, mientras que al 1.5% de adición de

nanosílice se observa el mayor aumento de resistencia de acuerdo a la muestra de control o patrón de diseño. Al igual que el tercer día la implementación de nanosílice al 2.0% sigue produciendo una resistencia muy baja.

Según los datos obtenidos en la **Tabla 49** se observa que a los 14 días la implementación de nanosílice al 0.5% y 1.0% aumenta mínimamente la resistencia a la compresión del hormigón con respecto al patrón o muestra de control de  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>, la adición de nanosílice al 1.5% es el porcentaje en donde más aumenta la resistencia a la compresión mientras que el 2.0% de implementación de nanosílice continúa siendo el porcentaje que mayor pérdida de resistencia produce.

A los 28 días según la **Tabla 50** la resistencia a la compresión obtenida  $f'_c$  253.30 kg/cm<sup>2</sup> es satisfactoria y cumple con la resistencia  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup> requerida y diseñada. Observando el **Gráfico 6** se deduce que el 0.5% y el 1.5 % son los porcentajes de adición de nanosílice que mayor resistencia obtienen, mientras que el 1.0% sigue con la tendencia de aumentar la resistencia a la compresión con relación a la muestra de control. El 2.0% es el porcentaje que produce una gran disminución de resistencia y representa pérdida en la misma según el diseño  $f'_c$  240 kg/cm<sup>2</sup>.

### 4.3 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>

#### 4.3.1 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>. Muestra de Control o Patrón

**Tabla 51**

*Dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> Patrón*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
<b>Patrón</b> $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	16/09/21	15.080	15.136	15.108	30.197	1791.7867	12.519	
	2	16/09/21	15.113	15.113	15.1895	30.047	1796.2392	12.629	
	1	16/09/21	14.980	14.980	14.955	29.893	1755.6939	12.480	
	2	16/09/21	15.177	15.177	15.114	29.906	1778.8235	12.520	
	1	16/09/21	15.218	15.218	15.169	30.169	1799.0692	12.566	
	2	16/09/21	15.196	15.196	15.148	30.100	1792.8664	12.565	
<b>revenimiento</b>	10cm	1	16/09/21	15.108	15.108	15.207	30.117	1802.0709	12.667
<b>Esfuerzo de diseño</b>	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	16/09/21	15.185	15.185	15.195	30.167	1802.6780	12.763

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 51**

Identificación del cilindro	№	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
<b>Patrón</b> $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	19/09/21	3	285.70	16.17	3
	2	19/09/21	3	249.70	14.19	
	1	23/09/21	7	337.30	19.09	7
	2	23/09/21	7	397.70	22.50	
	1	30/10/21	14	473.00	26.77	14
	2	30/10/21	14	472.40	26.73	
<b>revenimiento</b>	10cm	1	14/10/21	28	483.70	27.37
<b>Esfuerzo de diseño</b>	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	14/10/21	28	527.70	29.86

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 51**

Identificación del cilindro	№	Eficiencia		Diseñado	Días			
		%	prom.					
<b>Patrón</b> $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	54.21	15.18	11.20	40	%	3	
	2							
	1	74.27	20.795	18.20	65	%	7	
	2							
	1	95.54	26.75	25.20	90	%	14	
	2							
<b>revenimiento</b>	10 cm	1	102.20	28.615	27.72	99	%	28
<b>Esfuerzo de diseño</b>	280 kg/cm <sup>2</sup>	2						

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en el patrón de la dosificación  $f'_c 280 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 4.3.2 Dosificación $f'_c 280 \text{ Kg/cm}^2$ . Nanosílice al 0.5%

**Tabla 52**

*Dosificación  $f'_c 280 \text{ Kg/cm}^2$  Nanosílice al 0.5%*

Identificación del cilindro	№	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso		
			D1	D2	prom.					
<b>Nanosílice 0.5%</b> $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	30/09/21	15.122	15.123	15.1225	30.125	1790.4303	12.384		
	2	30/09/21	15.083	15.029	15.0560	29.918	1771.1932	12.137		
	1	30/09/21	15.134	15.124	15.1290	29.920	1781.6108	12.238		
	2	30/09/21	15.06	15.124	15.0920	29.955	1778.0359	12.255		
	1	30/09/21	15.08	15.193	15.1365	30.052	1788.9493	12.377		
	2	30/09/21	15.185	15.202	15.1935	30.048	1796.8554	12.286		
	<b>revenimiento</b>	10cm	1	30/09/21	15.160	15.164	15.1620	30.174	1798.3816	12.300
	<b>Esfuerzo de diseño</b>	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	30/09/21	15.227	15.119	15.1730	29.994	1791.3684	12.360

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 52**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 0.5% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	03/10/21	3	310.60	17.58	3	
	2	03/10/21	3	311.50	17.63		
	1	07/10/21	7	441.40	24.98	7	
	2	07/10/21	7	347.40	19.66		
	1	14/10/21	14	451.00	25.52	14	
	2	14/10/21	14	527.70	29.86		
revenimiento	10cm	1	28/10/21	28	507.90	28.74	
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	28/10/21	28	564.30	31.43	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 52**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 0.5% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1/2	62.88	17.605	11.20	40 %	3	22.88		
	1/2	79.71	22.32	18.20	65 %	7	14.71		
	1/2	98.89	27.69	25.20	90 %	14	8.89		
	revenimiento	10 cm	1						
	Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	107.45	30.085	27.72	99 %	28	8.45

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 0.5% de la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.3 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.0%

**Tabla 53**

*Dosificación  $f'_c$  280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.0%*

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	04/10/21	15.032	15.011	15.0215	30.066	1773.3049	12.334	
	2	04/10/21	15.194	15.134	15.164	30.107	1795.4747	12.177	
	1	04/10/21	15.211	15.126	15.1685	30.100	1795.7811	12.618	
	2	04/10/21	15.081	15.051	15.0660	29.932	1773.2689	12.620	
	1	04/10/21	15.199	15.048	15.1235	29.894	1779.5971	12.002	
	2	04/10/21	15.130	15.128	15.1290	30.034	1787.0291	12.195	
revenimiento	10cm	1	04/10/21	15.154	15.964	15.0590	29.895	1770.5289	11.968
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/10/21	15.124	15.198	15.1610	30.198	1799.3823	12.551

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 53**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 1.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	07/10/21	3	340.30	19.26	3	
	2	07/10/21	3	168.50	9.64		
	1	11/10/21	7	476.80	26.98	7	
	2	11/10/21	7	269.10	15.23		
	1	18/10/21	14	472.30	26.72	14	
	2	18/10/21	14	481.60	27.25		
revenimiento	10cm	1	04/11/21	28	538.23	30.46	
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	04/11/21	28	418.80	32.14	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 53**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	$\frac{1}{2}$	51.61	14.45	11.20	40 %	3	11.61		
	$\frac{1}{2}$	75.38	21.105	18.20	65 %	7	10.38		
	$\frac{1}{2}$	96.38	26.985	25.20	90 %	14	6.38		
	revenimiento	10 cm	1						
	Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	111.79	31.3	27.72	99 %	28	12.79

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.0% de la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.4 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 1.5%

**Tabla 54**

Dosificación  $f'_c$  280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 1.5%

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 1.5% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	12/10/21	15.163	15.208	15.1855	30.036	1795.1460	11.750	
	2	12/10/21	15.114	15.108	15.1110	29.995	1782.6243	11.576	
	1	12/10/21	15.294	15.233	15.2635	30.083	1808.4906	12.098	
	2	12/10/21	15.183	15.222	15.2025	30.109	1801.0481	11.838	
	1	12/10/21	15.037	15.038	15.0375	30.047	1774.6740	11.789	
	2	12/10/21	15.287	15.239	15.2630	15.263	1803.5764	11.995	
revenimiento	10cm	1	12/10/21	15.267	15.090	15.1785	15.179	1793.5794	11.936
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	12/10/21	15.341	15.041	15.1910	15.191	1803.7542	11.983

Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 54**

Identificación del cilindro	Nº	Rotura				Días	
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )		
Nanosílice 1.5% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	15/10/21	3	269.50	15.26	3	
	2	15/10/21	3	278.30	15.75		
	1	19/10/21	7	335.20	18.97	7	
	2	19/10/21	7	458.71	25.96		
	1	26/10/21	14	508.01	28.75	14	
	2	26/10/21	14	524.45	29.68		
revenimiento	10cm	1	11/11/21	28	605.30	34.25	
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	595.92	33.72	28

Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 54**

Identificación del cilindro	Nº	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 1.5% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	55.38	15.505	11.20	40	%	3	15.38	
	2								
	1	80.23	22.465	18.20	65	%	7	15.23	
	2								
	1	104.34	29.215	25.20	90	%	14	14.34	
	2								
revenimiento	10 cm	1							
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	121.38	33.985	27.72	99	%	28	22.38

Nota: Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 1.5% de la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.5 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>. Nanosílice al 2.0%

**Tabla 55**

Dosificación  $f'_c$  280 Kg/cm<sup>2</sup> Nanosílice al 2.0%

Identificación del cilindro	Nº	Fecha de vaciado	Diámetro cilindro			Altura	Área	Peso	
			D1	D2	prom.				
Nanosílice 2.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	14/10/21	15.264	15.055	15.1595	30.07	1793.0726	11.641	
	2	14/10/21	15.062	15.216	15.1390	30.274	1799.8627	11.514	
	1	14/10/21	15.131	14.890	15.0105	29.797	1759.0617	11.479	
	2	14/10/21	15.183	15.145	15.1640	29.937	1787.3759	11.826	
	1	14/10/21	15.14	15.269	15.2045	29.988	1795.5531	11.848	
	2	14/10/21	15.084	15.166	15.1250	29.998	1784.7510	11.663	
revenimiento	10cm	1	14/10/21	15.039	15.156	15.0975	29.848	1773.7393	11.695
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	14/10/21	15.165	15.202	15.1835	29.905	1788.6131	11.864



Lecturas de cargas y resistencias, continuación de la **Tabla 55**

Identificación del cilindro	№	Rotura				Días
		Fecha	Edad (días)	Carga (kN)	Resistencia (kN/cm <sup>2</sup> )	
Nanosílice 2.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	17/10/21	3	108.49	6.14	3
	2	17/10/21	3	161.33	9.13	
	1	21/10/21	7	147.20	8.33	7
	2	21/10/21	7	191.20	10.82	
	1	28/10/21	14	236.30	13.37	14
	2	28/10/21	14	229.10	12.96	
revenimiento	10cm	1	11/11/21	28	235.10	13.31
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	11/11/21	28	277.24	15.69

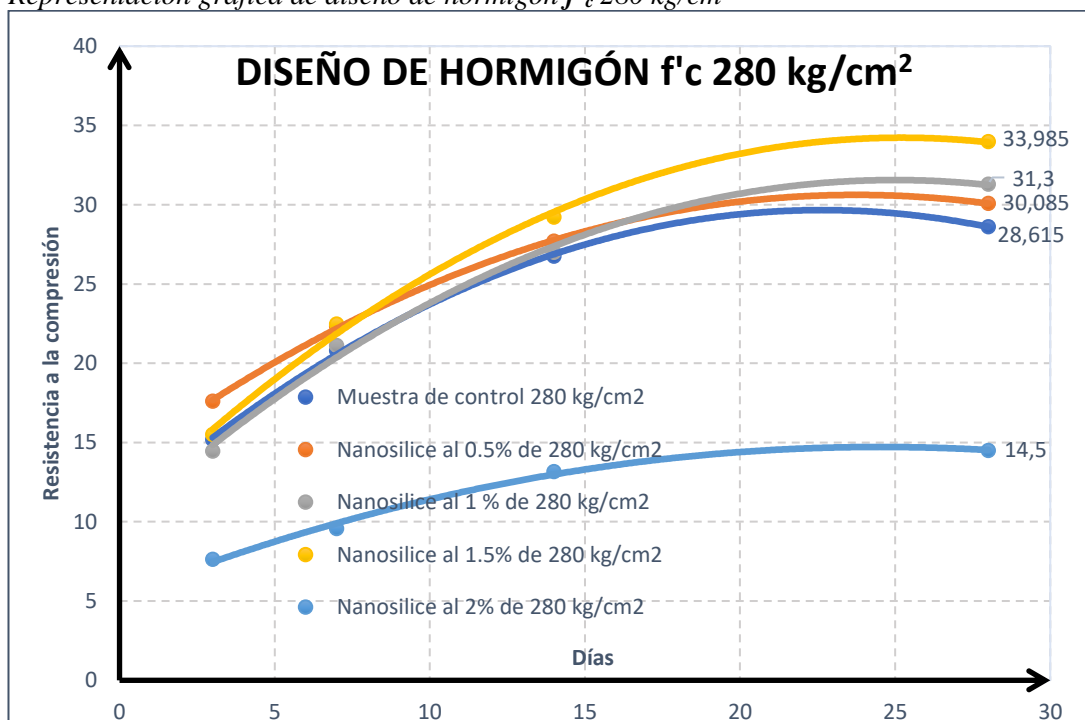
Eficiencia y diseño según los días de roturas, finalización de la **Tabla 55**

Identificación del cilindro	№	Eficiencia		Diseñado	Días	% aumenta			
		%	prom.						
Nanosílice 2.0% $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	1	27.27	7.635	11.20	40	%	3	-12.73	
	2								
	1	34.20	9.575	18.20	65	%	7	-30.80	
	2								
	1	47.02	13.165	25.20	90	%	14	-42.98	
	2								
revenimiento	10 cm	1							
Esfuerzo de diseño	280 kg/cm <sup>2</sup>	2	51.79	14.5	27.72	99	%	28	-47.21

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la implementación de nanosílice al 2.0% de la dosificación  $f'_c 280 \text{ kg/cm}^2$ .

### Gráfico 7

Representación gráfica de diseño de hormigón  $f'_c 280 \text{ kg/cm}^2$



*Nota:* Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanosílice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c 280 \text{ kg/cm}^2$

### 4.3.6 Análisis Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo a los datos obtenidos de los cálculos realizados en la **Tabla 51** muestra de control o patrón, se obtiene satisfactoriamente un hormigón de  $f'_c = 286.15$  kg/cm<sup>2</sup> el cual está diseñado para  $f'_c$  de 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Observando el **Gráfico 7**, gráfica de diseño de hormigón  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> y en relación a los resultados finales de la **Tabla 54** y **Tabla 53**, con la implementación de nanosílice al 1.5% ( $f'_c = 339.85$  kg/cm<sup>2</sup>) se obtiene el máximo nivel de mejoramiento a la resistencia a la compresión, mientras que, la implementación de nanosílice al 1.0% ( $f'_c = 313$  kg/cm<sup>2</sup>) es el segundo diseño que mejor resistencia obtiene.

La implementación de nanosílice al 0.5% ( $f'_c = 300.85$  kg/cm<sup>2</sup>) **Tabla 52** obtiene un mejoramiento favorable en la resistencia a la compresión del hormigón según el diseño de  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que al 2.0% de implementación de nanosílice se obtiene un  $f'_c = 145$  kg/cm<sup>2</sup> **Tabla 55** convirtiéndose en el porcentaje que disminuye la resistencia a la compresión según el diseño de hormigón requerido.

Se deduce entonces que al 1.5% y 1.0% de implementación de nanosílice es donde más aumenta y mejor resistencia a la compresión obtiene nuestro  $f'_c = 280$  kg/cm<sup>2</sup>, al 0.5% de implementación el aumento es favorable, y al 2.0% de implementación de nanosílice es donde menos desempeño obtiene nuestro diseño perdiendo una notable resistencia a la compresión del hormigón.

### 4.3.7 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días

**Tabla 56**

Resistencia a los 3 días  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosílice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$	$\gamma^2_{io}$
	1	2				
0%	16.17	14.19	30.36	15.18	261.4689	201.36
0.5%	17.58	17.63	35.21	17.61	309.0564	310.82
1.0%	19.26	9.64	28.90	14.45	370.9476	92.93
1.5%	15.26	15.75	31.01	15.51	232.8676	248.06
2.0%	6.14	9.13	15.27	7.64	37.6996	83.36

*Nota:* Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> al tercer día.

### 4.3.8 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días

Tabla 57

Resistencia a los 7 días  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$		$\gamma^2_{io}$
	1	2					
0%	19.09	22.50	41.59	20.80	364.4281	506.25	1729.73
0.5%	24.98	19.66	44.64	22.32	624.0004	386.52	1992.73
1.0%	26.98	15.23	42.21	21.11	727.9204	231.95	1781.68
1.5%	18.97	25.96	44.93	22.47	359.8609	673.92	2018.70
2.0%	8.33	10.82	19.15	9.58	69.3889	117.07	366.72

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> al séptimo día.

### 4.3.9 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días

Tabla 58

Resistencia a los 14 días  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$		$\gamma^2_{io}$
	1	2					
0%	26.77	26.73	53.50	26.75	716.6329	714.49	2862.25
0.5%	25.52	29.86	55.38	27.69	651.2794	891.62	3066.94
1.0%	26.72	27.25	53.97	26.99	713.9584	742.56	2912.76
1.5%	28.75	29.68	58.43	29.22	826.5625	880.90	3414.06
2.0%	13.37	12.96	26.33	13.17	178.7569	167.96	693.27

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> a los 14 días.

### 4.3.10 Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días

Tabla 59

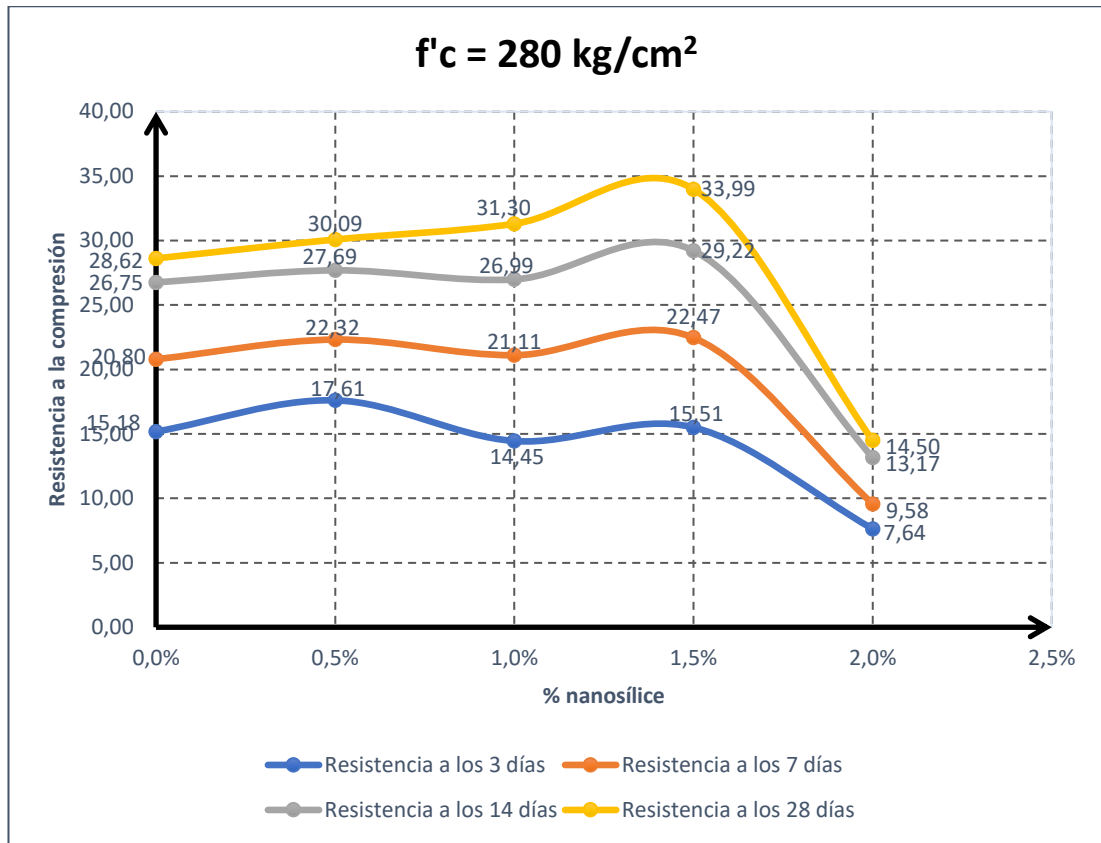
Resistencia a los 28 días  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>

Porcentaje de Nanosilice	Resistencia a la compresión (lb/plg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\gamma^2_{ij}$		$\gamma^2_{io}$
	1	2					
0%	27.37	29.86	57.23	28.62	749.1169	891.62	3275.27
0.5%	28.74	31.43	60.17	30.09	825.9876	987.84	3620.43
1.0%	30.46	32.14	62.60	31.30	927.8116	1032.98	3918.76
1.5%	34.25	33.72	67.97	33.99	1173.0625	1137.04	4619.92
2.0%	13.31	15.69	29.00	14.50	177.1561	246.18	841.00

Nota: Muestra los valores obtenidos en la dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

### Gráfico 8

Dosificación  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> según sus días de roturas



Nota: Representa las gráficas de muestra de control, implementación de nanosílice del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% del diseño de hormigón  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>, a los 3, 7, 14 y 28 días.

#### 4.3.11 Análisis por días. Dosificación $f'_c$ 280 Kg/cm<sup>2</sup>

A los 3 días según los datos obtenidos en la **Tabla 56** y observando el **Gráfico 8** se deduce que el 0.5% de implementación de nanosílice es el porcentaje que más resistencia a la compresión del hormigón obtiene, en el 1.5% existe un aumento mínimo con respecto a la muestra de control. En el 1.0% existe una reducción mínima de resistencia mientras que al 2.0% se produce la mayor pérdida de resistencia con respecto al patrón de diseño.

Observando la **Tabla 57** en el séptimo día el aumento de resistencia a la compresión del hormigón con respecto al  $f'_c$  de diseño bajó. El 1.5% y 0.5% de implementación de nanosílice son los porcentajes que presentan un aumento moderado de resistencia, mientras que el 1.0% de adición presenta un aumento mínimo. El 2.0%

presenta una notable reducción de resistencia a la compresión con respecto a la muestra de control según el  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> diseñado.

Observando los datos de la **Tabla 58** a los 14 días el 1.5% es el porcentaje de implementación de nanosílice que más aumenta la resistencia a la compresión del hormigón según su  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> de diseño, el 0.5% tiene un aumento favorable de resistencia mientras que el 1.0% de adición tiene un aumento mínimo con respecto a la muestra de control diseñada. El 2.0% continúa siendo el porcentaje que produce pérdida de resistencia a la compresión con relación al patrón de diseño.

A los 28 días la resistencia a la compresión obtenida  $f'_c$  286.2 kg/cm<sup>2</sup> (**Tabla 59**) es satisfactoria y cumple con la resistencia a la compresión  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup> requerida y diseñada. Según el **Gráfico 8**; el 1.5 % es el porcentaje de adición de nanosílice que mayor resistencia obtiene, mientras seguido del 1.0% y el 0.5% quienes mantienen la tendencia de aumentar la resistencia a la compresión con relación a la muestra de control. El 2.0% es el porcentaje que produce una gran disminución de resistencia y representa pérdida en la misma según el diseño  $f'_c$  280 kg/cm<sup>2</sup>.

#### ***4.4 Análisis de Precio Unitario***



En el presente trabajo de investigación se consideró realizar el análisis de precio unitario de un metro cubico de hormigón con cemento portland a 21 MPa, 24 MPa y 28 MPa de diseño respectivamente con implementación de nanosílice en los porcentajes que van desde el 0% siendo este nuestra muestra de control para la comparación con los porcentajes de , 0.5% de nanosílice, 1.0% de nanosílice , 1.5% de nanosílice y 2.0% de nanosílice con este análisis se realizó la evaluación costo presupuesto de los hormigones

Los precios unitarios ejecutados dentro del trabajo de investigación son con valores realizados en campo usando, agua industrial entregada a \$1.50, material de canteras de Guayaquil y el triunfo siendo los precios de \$22 y \$16 respectivamente y el nanosílice a un precio de \$1.50 por Kg, siendo los valores reales en obras de construcción, estos precios no variaran mucho dependiendo del lugar en donde se encuentre la pertinente ejecución de obra.

#### 4.4.1 Análisis de precio unitario muestra de control de hormigón de 21MPa

Tabla 60



Análisis de precio Unitario de 21MPa

 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA:</b>	“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”			
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>Código:</b>	Muestra de control	<b>Unidad:</b>	m3	
<b>Rubro:</b>	Hormigon simple de 21Mpa			
<b>Fecha:</b>	20/1/2022	<b>Rendimiento:</b>	0,33	
<b>1. Maquinarias y Equipos.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Concreteira	1	3,73	3,73	1,23
Herramientas Menores(5%ano)				0,06
				1,29
<b>2. Mano de Obra.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Peon	5	3,83	19,15	6,32
Albañil	2	3,87	7,74	2,55
Maestro	1	4,09	4,09	1,35
				10,22
<b>3. Materiales</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Unitario
		A	B	C=AXB
Cemento	Saco	7,9	8	63,20
Arena	m3	0,432	16	6,91
Piedra 3/4	m3	0,723	22	15,91
Agua	m3	0,182	0,5	0,091
Nanosilice	Kg	0	0	0,00
				86,11
<b>4. Transporte</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
		A	B	c=AXB
				0,00
		<b>Costo Directo</b>		97,62
		<b>Costo Indirecto(25%)</b>		24,41
		<b>Costo Total</b>		122,03

#### 4.4.2 Análisis de precio unitario al 0.5% de nanosilíce de un hormigón de 21MPa

Tabla 61



Análisis de precio Unitario de 21MPa al 0.5% de nanosilíce

 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA:</b>	"IMPLEMENTACION DE NANOSILICE PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS 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"			
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>Codigo:</b>	Muestra de control	<b>Unidad:</b>	m <sup>3</sup>	
<b>Rubro:</b>	Hormigon simple de 21Mpa			
<b>Fecha:</b>	20/1/2022	<b>Rendimiento:</b>	0,33	
<b>1. Maquinarias y Equipos.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Concreteira	0.87	3.73	3.2451	1.07
Herramientas Menores(5%ano)				0.05
				1.12
<b>2. Mano de Obra.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Peon	5	3.83	19.15	6.32
Albañil	2	3.87	7.74	2.55
Maestro	1	4.09	4.09	1.35
				10.22
<b>3. Materiales</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Unitario
		A	B	C=AXB
Cemento	Saco	7.9	8	63.20
Arena	m <sup>3</sup>	0.432	16	6.91
Piedra 3/4	m <sup>3</sup>	0.723	22	15.91
Agua	m <sup>3</sup>	0.182	0.5	0.091
Nanosilíce al 0,5%	Kg	1.7	10	17.00
				103.11
<b>4. Transporte</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
		A	B	c=AXB
				0.00
			<b>Costo Directo</b>	114.46
			<b>Costo Indirecto(25%)</b>	28.61
			<b>Costo Total</b>	143.07

#### 4.4.3 Análisis de precio unitario al 1.0% de nanosilice de un hormigón de 21MPa

Tabla 62

Análisis de precio Unitario de 21MPa al 1.0% de nanosilice



 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA:</b>	"IMPLEMENTACION DE NANOSILICE PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS 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"			
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>Codigo:</b>	Muestra de control	<b>Unidad:</b>	m <sup>3</sup>	
<b>Rubro:</b>	Hormigon simple de 21Mpa	<b>Rendimiento:</b>	0,33	
<b>Fecha:</b>	20/1/2022			
<b>1. Maquinarias y Equipos.</b>				
	<b>Cantidad</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Costo-Horario</b>	<b>Costo Unitario</b>
<b>Descripcion</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AXB</b>	<b>D=CXR</b>
Concreteira	1	3,73	3,73	1,23
Herramientas Menores(5%ano)				0,06
				1,29
<b>2. Mano de Obra.</b>				
	<b>Cantidad</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Costo-Horario</b>	<b>Costo Unitario</b>
<b>Descripcion</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AXB</b>	<b>D=CXR</b>
Peon	5	3,83	19,15	6,32
Albañil	2	3,87	7,74	2,55
Maestro	1	4,09	4,09	1,35
				10,22
<b>3. Materiales</b>				
	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Costo Unitario</b>
<b>Descripcion</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C=AXB</b>
Cemento	Saco	7,9	8	63,20
Arena	m <sup>3</sup>	0,346	16	5,54
Piedra 3/4	m <sup>3</sup>	0,723	22	15,91
Agua	m <sup>3</sup>	0,182	0,5	0,091
Nanosilice al 1%	Kg	3,94	10,59	41,72
				126,46
<b>4. Transporte</b>				
	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tarifa</b>	<b>Costo</b>
<b>Descripcion</b>		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>c=AXB</b>
				0,00
		<b>Costo Directo</b>		137,97
		<b>Costo Indirecto(25%)</b>		34,49
		<b>Costo Total</b>		172,47



#### 4.4.4 Análisis de precio unitario al 1.5% de nanosilíce de un hormigón de 21MPa

Tabla 63



Análisis de precio Unitario de 21MPa al 1.5% de nanosilíce

 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA:</b>	"IMPLEMENTACION DE NANOSILICE PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS 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"			
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>Codigo:</b>	Muestra de control	<b>Unidad:</b>	m <sup>3</sup>	
<b>Rubro:</b>	Hormigon simple de 21Mpa			
<b>Fecha:</b>	20/1/2022	<b>Rendimiento:</b>	0,33	
<b>1.Maquinarias y Equipos.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Concreteira	1	3,73	3,73	1,23
Herramientas Menores(5%mo)				0,06
				1,29
<b>2.Mano de Obra.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Peon	5	3,83	19,15	6,32
Albañil	2	3,87	7,74	2,55
Maestro	1	4,09	4,09	1,35
				10,22
<b>3.Materiales</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Unitario
		A	B	C=AXB
Cemento	Saco	7,9	8	63,20
Arena	m <sup>3</sup>	0,346	16	5,54
Piedra 3/4	m <sup>3</sup>	0,723	22	15,91
Agua	m <sup>3</sup>	0,182	0,5	0,091
Nanosilíce al 1,5%	Kg	5,91	10,59	62,59
				147,32
<b>4.Transporte</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
		A	B	c=AXB
				0,00
			<b>Costo Directo</b>	158,84
			<b>Costo Indirecto(25%)</b>	39,71
			<b>Costo Total</b>	198,54

#### 4.4.5 Análisis de precio unitario al 2.0% de nanosilice de un hormigón de 21MPa

Tabla 64

Análisis de precio Unitario de 21MPa al 2.0% de nanosilice

 <b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>TEMA:</b>	"IMPLEMENTACION DE NANOSILICE PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECANICAS 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"			
<b>ANALISIS DE PRECIO UNITARIO</b>				
<b>Codigo:</b>	Muestra de control	<b>Unidad:</b>	m3	
<b>Rubro:</b>	Hormigon simple de 21Mpa			
<b>Fecha:</b>	20/1/2022	<b>Rendimiento:</b>	0,33	
<b>1. Maquinarias y Equipos.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Concreteira	1	3,73	3,73	1,23
Herramientas Menores(5%mo)				0,06
				1,29
<b>2. Mano de Obra.</b>				
Descripcion	Cantidad	Tarifa	Costo-Horario	Costo Unitario
	A	B	C=AXB	D=CXR
Peon	5	3,83	19,15	6,32
Albañil	2	3,87	7,74	2,55
Maestro	1	4,09	4,09	1,35
				10,22
<b>3. Materiales</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo Unitario
		A	B	C=AXB
Cemento	Saco	7,9	8	63,20
Arena	m3	0,346	16	5,54
Piedra 3/4	m3	0,723	22	15,91
Agua	m3	0,182	0,5	0,091
Nanosilice al 2%	Kg	7,88	10,59	83,45
				168,18
<b>4. Transporte</b>				
Descripcion	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
		A	B	c=AXB
				0,00
		<b>Costo Directo</b>		179,70
		<b>Costo Indirecto(25%)</b>		44,92
		<b>Costo Total</b>		224,62

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 Conclusiones

- El análisis procedente de las propiedades mecánicas a compresión de los hormigones con los diferentes porcentajes de nanosílice son:

En la dosificación de 21MPa se observa un incremento de 23.18% al 0.5% de nanosílice, 3.63% al 1.0% de nanosílice, 15.32% al 1.5% de nanosílice y hay una disminución de resistencia de 41.79% al 2.0% de nanosílice como se determina nuestro mayor incremento existe en el porcentaje del 0.5% de nanosílice.

En la dosificación de 24MPa se observa un incremento de 9.9% al 0.5% de nanosílice, 6.41% al 1.0% de nanosílice, 9.56% al 1.5% de nanosílice y hay una disminución de resistencia de 51.91% al 2.0% de nanosílice como se determina nuestro mayor incremento existe en el porcentaje del 0.5% de nanosílice.

En la dosificación de 28MPa se observa un incremento de 5.67% al 0.5% de nanosílice, 1.68% al 1.0% de nanosílice, 8.77% al 1.5% de nanosílice y hay una disminución de resistencia de 41.44% al 2.0% de nanosílice como se determina nuestro mayor incremento existe en el porcentaje del 1.5% de nanosílice.

En los diseños de 21 MPa y 24 MPa el nanosílice al 0.5% trabaja más óptimamente con relación al cemento, en el diseño de 28MPa el nanosílice al 1.5% trabaja de una mejor manera conjunto al cemento. En los diseños de 21MPa, 24MPa y 28MPa el nanosílice al 2.0% tiene una declinación considerable en su resistencia a compresión.

1. Se obtuvo las resistencias a compresión con nanosílice al 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% el incremento de resistencia se da en los 3, 7, 14 y 28 días respectivamente en los diseños de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, 240Kg/cm<sup>2</sup> y 280Kg/cm<sup>2</sup>. En el 0.5% de nanosílice las resistencias incrementan en un 13.33%, en 1.0% la resistencia incrementa en 3.90%, en 1.5 % la resistencia incrementa en un 11.77%, en el 2.0% la resistencia cae en un 45.06%, se prevé trabajar con nanosílice al 0.5% tomando en cuenta que es donde se obtiene el mayor porcentaje en incremento de resistencia a compresión.
2. Se evaluó los resultados obtenidos con hormigones de altas prestaciones siendo en el diseño de 28 MPa al 0.5% y 1.5% de nanosílice una de las opciones para desempeñar como hormigones de altas resistencias llegando a incrementar un 13.33% y 11.77% del diseño de hormigón, obteniendo hormigones de 31MPa y 34 Mpa respectivamente.
3. Se obtuvo un modelo matemático que satisface las condiciones de los diseños de hormigón, considerando el modelo como aporte para la construcción en ellos aspectos de resistencias en las estructuras de hormigón, innovando el área de la construcción con la correlación de nanosílice y cemento, teniendo eficiencia del nuevo ligante en el hormigón.
4. Se realizó el análisis costo-beneficio de las resistencias de 21MPa, 24MPa y 28MPa en relación del patrón de diseño y la implementación de nanosílice en los porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. El análisis de precio unitario nos muestra que trabajando con nanosílice al 0.5% obtenemos no solamente incremento en resistencia, sino que también el valor con el que se ejecuta en relación costo/fabricación con el propósito que el uso en este porcentaje es considerado factible.

## **5.2 Recomendaciones**

1. Realizar una investigación en la implementación de nanosílice en el rango de 0.6% a 1.4%, en las dosificaciones ensayadas con el propósito de indagar sobre la pérdida de resistencia en este rango.

2. Evaluar la posibilidad de crear hormigones de altas prestaciones con nanosílice al 0.5% con el propósito de obtener mayor resistencia en estructuras de hormigón.
3. Elaborar probetas y realizar ensayos a partir del 2.0% para verificar si la declinación de la resistencia a compresión del hormigón continúa disminuyendo y que no se detenga la investigación de la nanotecnología en hormigones.
4. Los modelos matemáticos deben tener una buena relación en las variables ya que los datos a evaluar varían dependiendo a nuestras graficas alcanzadas por los resultados de los ensayos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1) Alvansazyazdi, M., Barrionuevo Castañeda, A. A., & 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, Ciencias de la Ingeniería. Quito: Quito: UCE. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22697>
- 2) Aramayo, A., Amayo, M., Aramayo, P. A., Aramayo, M., & Paniagua, D. (20 de junio de 2014). Hormigon con Nanotecnologia. (M. (ed.), Ed.) *Estudiantes N° 692. Facultad de Ciencias Tecnológicas, Direccion Calle Regimiento Campos N° 180, 1(291)*, pág. 291. Recuperado el 7 de noviembre de 2021, de [https://www.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias%20Tecnol%C3%B3gicas%20y%20Agrarias\\_2/Ciencias%20Tecnol%C3%B3gicas%20y%20Agrarias\\_Handbook\\_Vol%20II/PAPERS\\_25/art19.pdf](https://www.usfx.bo/nueva/Dicyt/Handbooks/Ciencias%20Tecnol%C3%B3gicas%20y%20Agrarias_2/Ciencias%20Tecnol%C3%B3gicas%20y%20Agrarias_Handbook_Vol%20II/PAPERS_25/art19.pdf)
- 3) Arellano Castillo, M. F., Fierro Valle, J. O., & Muñoz, G. (2018). *HORMIGÓN DE ALTA RESISTENCIA CON NANOSÍLICE*. Escuela Politecnica de Litoral., Ingeniería Civil-Investigacion. Guayaquil, Guayas; Ecuador.: ESPOL. FICT. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/46906>
- 4) Calderón1, F. Y. (01 de Marzo de 2014). Design of high performance concrete: high compressive strength, adequate workability and high resistance to erosion - abrasion for hydraulic works o Diseño de hormigones de alto desempeño: alta resistencia a la compresión, trabajabilidad adecuada y alta r. (P. Cesar Zambrano, Ed.) *AVANCES en Ciencias e Ingenierías, Vol 6(N°1), C4-C10*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <file:///C:/Users/USER/Downloads/162-Texto%20del%20art%C3%ADculo-165-1-10-20150929.pdf>
- 5) Castellanos, G. C. (7 de Diciembre de 2014). La importancia de publicar los resultados de Investigación. (R. F. 2014, Ed.) *Revista Facultad de Ingeniería, Vol.23(37), 37*. Recuperado el 10 de noviembre de 2021, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-11292014000200001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-11292014000200001)
- 6) Cuevas Diaz, J. (2012). Caracterización, problemática y control de calidad de los materiales en el norte de Argelia para la elaboración de hormigones estructurales. *DIALNET, ISSN 0008-8919(N° 952), 36-43*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4080685>
- 7) Darwin, D., Dolan, C. W., & Nilson, A. H. (2010, 2004.). *DESIGN of CONCRETE STRUCTURES* (50 ed., Vol. Edition 50). (w. c.-H. Education, Ed.) New Plaza, New York, New York, Estados Unidos, United States of America.: McGraw-Hill Education. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de [https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwjXn7Tx0q\\_0AhUOh4YKHTYEAV4YABACGgJ2dQ&ae=2&ohost=www.google.com&cid=CAESQOD20ZpJRG2YTx8F0RGtBGEKfIEAtaN9DcuJCEexplioDpuWNUVAWxr6c2QEO4ciiR\\_JbBuFmu1X2cB-8fjSyw&sig=AOD64\\_1DecnZoAuUXudvHvMEK-DEhk8A](https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwjXn7Tx0q_0AhUOh4YKHTYEAV4YABACGgJ2dQ&ae=2&ohost=www.google.com&cid=CAESQOD20ZpJRG2YTx8F0RGtBGEKfIEAtaN9DcuJCEexplioDpuWNUVAWxr6c2QEO4ciiR_JbBuFmu1X2cB-8fjSyw&sig=AOD64_1DecnZoAuUXudvHvMEK-DEhk8A)
- 8) Girón, T. E., Acosta, A. ..., Hernández, A. P., & Rodríguez., U. V. (15 de 09 de 2012). Reología, comportamiento físico-mecánicos y de durabilidad de hormigones con. *Revista ALCONPAT, Vol 2(N° 2), 85-92*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/4276/427639588004.pdf>

- 9) Guerrini, G., & Corazza, F. (30 de Abril de 2008). WHITE CEMENT AND PHOTOCATALYSIS PART 2: APPLICATIONS. (C.-I. Group, Ed.) *First Arab International Conference and Exhibition on The Uses of White Cement Cairo, Egypt*, 2, 2-6. Recuperado el 7 de Noviembre de 2021, de <http://docplayer.net/33336240-White-cement-and-photocatalysis-part-2-applications-g-l-guerrini-f-corazza.html>
- 10) Howland Albear, J. J., & Morejon Gonzalez, D. (2010). *PROBLEMATICA DE LA PRODUCCION DE HORMIGONES CON PROPIEDADES CONSTANTES (1A PARTE)* (2 ed., Vol. Vol 1). (C. d. (CEDEX), Ed.) Washington D.C., UNITED OF STATES, ESTADOS UNIDOS: The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <https://trid.trb.org/view/948732>
- 11) Montgomery, D. c. (2004). *DISEÑO Y ANALISIS DE EXPERIMENTOS (segunda Edicion)* (Segunda Edicion ed., Vol. Segunda Edicion). (G. N. 95, Ed.) Mexico, Distrito Federal., Distrito Federal, Mexico: EDITORIAL LIMUSA, SA DE C.V. Recuperado el 9 de noviembre de 2021, de [file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS%20DE%20HORMIG%20C3%93N/TESIS%20FINAL/Leer/Diseno\\_y\\_analisis\\_de\\_experimentos\\_Dougla.pdf](file:///C:/Users/USER/Desktop/TESIS%20DE%20HORMIG%20C3%93N/TESIS%20FINAL/Leer/Diseno_y_analisis_de_experimentos_Dougla.pdf)
- 12) Prudente Merchan, M. A., Vallejo Salguero, R. J., & Ing. Garces Vargas, J. F. (2019). *“UTILIZACIÓN DE LA ADICIÓN DE ARCILLA CALCINADA MÁS CALIZA (LC2) EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES.* Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, Facultad Ciencias de la Ingeniería . La Libertad: Santa Elena- Upse. Recuperado el 23 de Noviembre de 2021, de <http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/handle/46000/4772>
- 13) ACI CT-18 ACI Concrete Terminology. (2018). [www.concrete.org](http://www.concrete.org)
- 14) Aramayo, A., Amayo, M., Aramayo, P. A., Aramayo, M., & Paniagua, D. (2014). *Estudiantes N° 692. Facultad de Ciencias Tecnológicas, Dirección Calle Regimiento Campos N° 180.*
- 15) ASTM C 33 –03. (2003). *Especificación estándar para AGREGADOS PARA CONCRETO 1.* <https://pdfcoffee.com/astm-c33-03-espaol-5-pdf-free.html>
- 16) ASTM C 125-00. (2003). *Terminología Estándar Relacionada con el Hormigón y los Agregados de Hormigón.* [https://www.academia.edu/36570884/Standard\\_Terminology\\_Relating\\_to\\_Concrete\\_and\\_Concrete\\_Aggregates\\_1](https://www.academia.edu/36570884/Standard_Terminology_Relating_to_Concrete_and_Concrete_Aggregates_1)
- 17) ASTM C-494. (2004). *ESPECIFICACIÓN NORMALIZADA DE ADITIVOS QUÍMICOS PARA CONCRETO.* <https://es.scribd.com/presentation/350586925/Ventura-Astm-C-494-Aditivos>
- 18) Bañón Luis. (2010). *Universidad de Alicante Tema 03 Componentes del hormigón.* <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/25641/3/Tema%2003%20-%20Componentes%20del%20hormig%C3%B3n.pdf>
- 19) Bombón, C., & Rosero, B. (2021). *Estudio de la incorporación de Nano Sílice en Concreto de Alto Desempeño (HPC).*
- 20) Cargua, P., & Cruz, B. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE IMPERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN MEDIANTE ESTUDIO EXPERIMENTAL DE ADITIVOS POR CRISTALIZACIÓN.* <http://repositorio.uees.edu.ec/123456789/1937>
- 21) *CEMENTO FUERTE EL CEMENTO HOLCIM FUERTE ES EL RECOMENDADO PARA PREPARAR CONCRETOS Y MORTEROS DE USO GENERAL.* (n.d.).

- 22) CEMEX. (2020). *PRODUCTOS CEMEX*.  
<https://www.cemex.com/es/web/guest/productos-servicios/productos/cemento>
- 23) De, H., Resistencia, A., Nanosílice, C., Fabricio, M., Castillo, A., Oswaldo, J., & Valle, F. (n.d.). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra Previo la obtención del Título de: Ingeniero Civil*.
- 24) Escalante, K., & Avila, V. (2015). *EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND EMPLEANDO AGREGADO GRUESO*.  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2264>
- 25) Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica. (2007). Hormigón 02. Tipos de hormigón y sus propiedades. *Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica. Materiales II*.  
[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod\\_resource/content/1/Hormigon\\_02.\\_Tipos\\_y\\_propiedades.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6203/mod_resource/content/1/Hormigon_02._Tipos_y_propiedades.pdf)
- 26) Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado. (2007). *NOTAS TÉCNICAS. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS*. <http://50.62.246.101/notas-tecnicas.html>
- 27) Fundación Polar. El mundo de las matemáticas. (s.f.). *Modelos matemáticos*.
- 28) Girón, T., Acosta, M., Pérez, H., & Verdecia, R. (2012). Reología, comportamiento físico-mecánicos y de durabilidad de hormigones con nanosílice. *Revista ALCONPAT*, 2, 85–92.
- 29) Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto*. 25.2, 80–86.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835626>
- 30) Holcim Ecuador S.A. (2019). *Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*.  
[https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO\\_GU\\_G.pdf](https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf)
- 31) INECYC. (2007). *INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN*.  
<https://www.inecyc.org.ec/>
- 32) Labanda, H., & Rodríguez, E. (2020). *EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD DE LOS ADITIVOS SIKA, EN HORMIGONES Y MORTEROS PRODUCIDOS CON CEMENTO GU, LC3, LC2 Y HUMO DE SÍLICE*.  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5313>
- 33) Montgomery, D. C. (2003). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.
- 34) Moskoluk, J., & González, J. (2017). *TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN I. TRABAJO PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN. HORMIGÓN Y HORMIGÓN ARMADO*.  
<https://es.slideshare.net/JohannamaiaMoskoluk/hormign-y-hormign-armado>
- 35) *Nanomechanical Properties of Cementitious Materials*. (2008).
- 36) Norma Ecuatoriana De La Construcción. (2015). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO CÓDIGO NEC-SE-HM*.
- 37) Nilson, A. (2001). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO* (Duodécima edición). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A.
- 38) NTE INEN 151. (2010). *CEMENTO HIDRÁULICO. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/151.pdf>
- 39) NTE INEN 872. (2011). *ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. REQUISITOS*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>



- 40) NTE INEN 1578. (2010). *HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DEL ASENTAMIENTO*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1578.pdf>
- 41) NTE INEN 1762. (2015). *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-1762-1.pdf>
- 42) NTE INEN 2380. (2011). *CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS*.  
<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
- 43) Ortiz Francisco. (n.d.). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL L2 Conceptos Básicos*. Retrieved November 15, 2021, from  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45900813/L2\\_Conceptos\\_basicos\\_-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637103846&Signature=bspY9HKJR8vRGDu9A24RI5wqcWEODeoFG1y5rH3XUe355ANWT5TNv8QvBk0fFayA3D71nVYpUa25gkQJgW3MwhBRJ3zMzuoFCqEA2qKG7t4vz162OEd11TnpvJ75F0Sf5MqTtGmlD57E2-J2DkHpT7djnUtEEYplbhG-Rgy26lafhkl1wTUPfGy4vV3hQwxmqGz-5Ngj080itg-ICYWG1g4G2W3zuGWJrA-VeXmS8RFoopyR8EZdghfNmr~ZY3qz4RGDQAgVUo9aVa1~-MsSR4UzS3bNWN0nob6bTkUiyJtix6roTN3oP~eUXCNTdtUSaxeYl6Gr4pNizP6rKyGBNw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45900813/L2_Conceptos_basicos_-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637103846&Signature=bspY9HKJR8vRGDu9A24RI5wqcWEODeoFG1y5rH3XUe355ANWT5TNv8QvBk0fFayA3D71nVYpUa25gkQJgW3MwhBRJ3zMzuoFCqEA2qKG7t4vz162OEd11TnpvJ75F0Sf5MqTtGmlD57E2-J2DkHpT7djnUtEEYplbhG-Rgy26lafhkl1wTUPfGy4vV3hQwxmqGz-5Ngj080itg-ICYWG1g4G2W3zuGWJrA-VeXmS8RFoopyR8EZdghfNmr~ZY3qz4RGDQAgVUo9aVa1~-MsSR4UzS3bNWN0nob6bTkUiyJtix6roTN3oP~eUXCNTdtUSaxeYl6Gr4pNizP6rKyGBNw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)
- 44) PCA. (2019). *America's Cement Manufacturers*.  
<https://www.cement.org/cement-concrete/how-cement-is-made>
- 45) Perles, P. (2009). *Hormigón Armado Tomo I*.  
<https://arquitectoserdeiro.files.wordpress.com/2015/09/e296aae2819e-perles-pedro-hormigon-armado-tomo-1-e2819ee296aaaf.pdf>
- 46) Prudente, M., & Vallejo, R. (2019). *UTILIZACIÓN DE LA ADICIÓN DE ARCILLA CALCINADA MÁS CALIZA (LC2) EN LA PRODUCCIÓN DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES*.  
<http://repositorio.upse.edu.ec:8080/jspui/handle/46000/4772>
- 47) Rivas Ana. (n.d.). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO ARMADO, TEORÍA CLÁSICA O ELÁSTICA*. Retrieved November 22, 2021, from  
<https://pdfcoffee.com/propiedades-fisicas-y-mecanicas-del-concreto-armado-3-pdf-free.html>
- 48) Roldán, P. (2020). *Modelo matemático*.  
<https://economipedia.com/definiciones/modelo-matematico.html>
- 49) Romo, M. (2008). *TEMAS DE HORMIGÓN ARMADO*.  
[https://www.academia.edu/30210316/TEMAS\\_DE\\_HORMIG%C3%93N\\_ARMADO\\_CAP%C3%8DTULO\\_I\\_FUNDAMENTOS\\_DEL\\_HORMIG%C3%93N\\_SIMPLE](https://www.academia.edu/30210316/TEMAS_DE_HORMIG%C3%93N_ARMADO_CAP%C3%8DTULO_I_FUNDAMENTOS_DEL_HORMIG%C3%93N_SIMPLE)
- 50) Salgado, C. (2010). *Estudio de la actividad puzolánica de micro/nanosílice y su aplicación en hormigones de altas resistencias*.  
<http://hdl.handle.net/2117/81261>
- 51) Suministro de Especialidades, S. de C. (2020). *Aerosil® 200*.
- 52) Tomalá, J., & Cucalón, R. (2020). *“OPTIMIZACIÓN DE HORMIGÓN F'c = 350 KG/CM2 APLICANDO DIFERENTES ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES.”*  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5367>
- 53) Troyano Miguel. (n.d.). *Estructuras de Hormigón*. Retrieved November 15, 2021, from

[https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/17355/Tema%2002\\_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/17355/Tema%2002_02.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- 54) *WHITE CEMENT AND PHOTOCATALYSIS PART 2\_ APPLICATIONS*. G.L. Guerrini, F. Corazza - *PDF Free Download*. (n.d.).
- 55) Wicitec. (2013, September 27). *Módulo 4: Hormigón Características de sus componentes*. <https://eloficial.ec/modulo-4-hormigon-caracteristicas-de-sus-componentes/#:~:text=El%20hormig%C3%B3n%20o%20concreto%20es,agregados%20form%C3%A1ndose%20un%20material%20heterog%C3%A9neo>.
- 56) Yépez, F., & Calderón, F. X. (2014). *Design of high performance concrete: high compressive strength, adequate workability and high resistance to erosion-abrasion for hydraulic works* *Diseño de hormigones de alto desempeño: alta resistencia a la compresión, trabajabilidad adecuada y alta resistencia a la erosión-abrasión para obras hidráulicas* (Vol. 6, Issue 1). <http://avances.usfq.edu.ec>

## ANEXOS

### Anexo 1

Tabla de cálculos de varianza, dosificación de 240 Kg/cm<sup>2</sup> a 3 días

Resistencia a los 3 días de un hormigon de 240 kg/cm <sup>2</sup>							
Porcentaje de nanosilica	Resistencia a la Compresion(lb/pulg <sup>2</sup> )		Total	Promedio	$\sum y_{ij}^2$		$\sum y_{i.}^2$
	1	2					
0%	8,02	16,17	24,19	12,10	64,3204	261,47	585,16
0,5%	12,99	18,92	31,91	15,96	168,7401	357,97	1018,25
1%	16,19	12,37	28,56	14,28	262,1161	153,02	815,67
1,5%	18,59	11,61	30,20	15,10	345,5881	134,79	912,04
2%	5,61	5,16	10,77	5,39	31,4721	26,63	115,99
$\sum y_{.j} = 126 \quad \sum y_{.i} = 12,56$							

$$SS_T = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^2 y_{ij}^2 - \frac{y_{.j}^2}{N} = 227,8170$$

$$SS_{\text{Tratamientos}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 y_{i.}^2 - \frac{y_{.j}^2}{N} = 145,26566$$

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Tratamientos}} = 82,5513$$

$$F_0 = \frac{SS_{\text{Tratamientos}} / (a-1)}{SS_E / (N-a)} = \frac{MS_{\text{Tratamientos}}}{MS_E} = 2,199625748$$

*H<sub>0</sub> no leen'a:*  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_5$   
 $H_1 = \mu_i \neq \mu_2$

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$	Valor P	$F_{crit}$
Tratamientos	145,26566	4	36,316415	2,1996257	0,205037	5,19
Error	82,5513	5	16,51027			
Total	227,8170	9				

**Anexo 2**  
**Diseño de Hormigón**

DISEÑO DE HORMIGON PARA IMPLEMENTACION DE NANOSILICE

	280	85
f c (sin aire)	365	kg/cm2
f c (con aire)	0	kg/cm2

Relacion a/c	
sin aire incluido	0,46
con aire incluido	#¡DIV/0!

Revenimiento	10,00	cm
Relacion a/c	0,38	

CANTIDAD DE CEMENTO
506,23 kg/m3

AGUA

CANTIDAD DE AGUA	
193	kg/m3

Tamaño máximo de la grava	aire atrapado	
25 mm	1,5	%

AGREGADO GRUESO

CANTIDAD DE GRAVA	
934,4765625	kg/m3

Tabla 6.3.6.	MF arena	P.V.V.	
0,65	3,23	1437,65625	kg/m3

AGREGADO GRUESO

CANTIDAD DE GRAVA	
934,4765625	kg/m3

Tabla 6.3.6.	MF arena	P.V.V.	
0,65	3,23	1437,65625	kg/m3

AGREGADO FINO

Correccion 60-40 de agregados			W (kg)	D (kg/m3)	V (m3)
A.T	1394,13 kg	Agua	193	1000	0,193
Arena	557,65 kg	Cemento	506,23	2950	0,172
Grava	836,48 kg	Grava	934,4765625	2100,84	0,444810844
		Arena	459,65	2617,80	0,176
		Aire			0,01500
					1,000

PARA FUNDIR TESTIGOS					
	Vfundir(m3)	%propor V	Vol material	D (kg/m3)	kg(PESAR)
AIRE		1,5	0,000813333		
CEMENTO		17,3	0,009304701	2950	27,4489
GRAVA		44,54	0,0240120	2100,84	50,4454
% Nanosilice		0,0	0,000000000	200,00	0,0000
ARENA		18,2	0,009787640	2617,80	25,6221
AGUA		18,5	0,009989924	1000	9,9899
TOTAL	0,0539076	100,0	0,0539076		113,5063

### Anexo 3

Datos para los testigos

PARA FUNDIR TESTIGOS					
	Vfundir(m3)	%propor V	Vol material	D (kg/m3)	kg(PESAR)
AIRE		1,5	0,000813333		
CEMENTO		17,3	0,009304701	2950	27,449
GRAVA		44,5	0,0240120	2100,84	50,445
% Silice		0,5	0,000269538	680	0,183
ARENA		18,2	0,009787640	2617,80	25,622
AGUA		18,5	0,009989924	1000,00	9,990
TOTAL	0,0539076	100,5	0,0541771		113,690

### Anexo 4

Datos de los cilindros.

Datos cilindro		
Pi	3,14156	
Radio	0,075	m
A= Pi*r^2	0,01767128	m2
h	0,3	m
V cilindro	0,00530138	m3
# cilindros	5	unidades
VolumenCilindro	0,02650691	m3

### Anexo 5

Datos del laboratorio

AGREGADO GRUESO CONVENCIONAL CONSTRUCCION
---

PESO VOLUMETRICO SUELTO			PESO VOLUMETRICO VARILLADO		
VOLUMEN	0,0128	m3	VOLUMEN	0,0128	m3
P.V.S.+ R	23,977	Kg	P.V.V.+ R	25,835	Kg
RECIPIENTE	7,433	Kg	RECIPIENTE	7,433	Kg
PESO DEL MATERIAL	16,54	Kg	PESO DEL MATERIA	18,402	Kg
P.V.S.	1292,50	kg/m3	P.V.V.	1437,6563	kg/m3

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D)			% ABSORCION	
P.S.S.S.	2000,00	gr	RECIPIENTE (2)	K
W(canastilla sumergido)	1176,00	gr	W RECIPIENTE (gr)	142,61
W(canastilla sumergido + material)	2224,00	gr	W GRAVA SATURAD	972,00
W(can sumer+mat)-W(can sumer)	1048,00	gr	W GRAVA SECA+ R	950,00
VOLUMEN	952,00	cm3	W de AGUA	22,00
D.S.S.S.	2,10	gr/cm3	W GRAVA SECA	807,39
	2100,84	Kg/m3	% ABSORCION	2,72

AGREGADO FINO CONVENCIONAL CONSTRUCCION

PESO VOLUMETRICO SUELTO		
VOLUMEN	0,002707	m3
P.V.S.+ R	5,355	Kg
RECIPIENTE	1,753	Kg
PESO DEL MATERIAL	3,60	Kg
P.V.S.	1330,62	kg/m3

DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (D.S.S)			% ABSORCION	
P.S.S.S.	500,00	gr	RECIPIENTE	S
LECTURA INICIAL	200,00	gr	W RECIPIENTE (gr)	90,88
LECTURA FINAL	391,00	gr	W ARENA SATURADA-	522,30
W (desalojado)	191,00	gr	W ARENA SECA+ R	515,00
VOLUMEN	191,00	cm3	W de AGUA	7,30
D.S.S.S.	2,62	gr/cm3	W ARENA SECA	424,12
	2617,80	Kg/m3	% ABSORCION	1,72

**Anexo 6**

*Granulometría*

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO								
TAMIZ (IN)	RETENIDO	RETENID	% acumulad	% PASA	ESPECIFICACIONES ASTM			
					3/4	1	1 1/2	2
2 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00				100
2	0,00	0,00	0,00	100,00			100	95 a 100
1 1/2	0,00	0,00	0,00	100,00		100	95 a 100	
1	0,89	11,18	11,18	88,82	100	95 a 100		35 a 70
3/4	1,79	22,46	33,63	66,37	90 - 100		35 a 70	
1/2	3,02	38,00	71,63	28,37		25 a 60		10 a 30
3/8	1,26	15,88	87,51	12,49	20 a 5		10 a 30	
No 4	0,55	6,88	94,39	5,61	0 - 10	0 a 10	0 a 5	0 a 5
No 8	0,33	4,16	98,55	1,45	0 - 5	0 a 5		
FONDO	0,12	1,45	100,00					
TOTAL	7,95		396,90					
		MF	3,97					

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO						
TAMIZ (IN)	RETENIDO	% RETENIDC	% acumulad	% PASA	ESPECIFICACIONES	
					A.S.T.M.	
3/8	0,78	8,64	8,64	91,36	100	
No 4	0,67	7,42	16,06	83,94	95	100
No 8	0,76	8,41	24,47	75,53	80	100
No 16	1,30	14,42	38,88	61,12	50	85
No 30	1,20	13,26	52,15	47,85	25	60
No 50	2,97	32,92	85,06	14,94	10	30
No 100	1,19	13,21	98,27	1,73	2	10
FONDO	0,16	1,73			0	
TOTAL	9,03		323,52			
		MF	3,24			

HUMEDAD DE ARENA		HUMEDAD DE GRAVA	
RECIPIENTE	X2	RECIPIENTE	V1
W RECIPIENTE (gr)	98,51	W RECIPIENTE (gr)	140,00
W ARENA+ R	930,00	W GRAVA + R	1050,00
W ARENA SECA+ R	894,00	W GRAVA SECA+ R	1029,69
W de AGUA	36,00	W de AGUA	20,31
W ARENA SECA	795,49	W GRAVA SECA	889,69
HUMEDAD	4,53	HUMEDAD	2,28

DATOS		
Peso específico del cemento	2950	kg/m <sup>3</sup>
ARENA		
Módulo de finura de la arena	3,24	
Peso volumetrico de la arena	1330,62	kg/m <sup>3</sup>
D.S.S.S. de la arena	2617,80	Kg/m <sup>3</sup>
Absorción de la arena	1,72	%
Humedad de la arena	4,53	%
GRAVA		
Peso volumetrico suelto de la grava	1292,50	kg/m <sup>3</sup>
Peso volumetrico varillado de la grava	1437,6563	kg/m <sup>3</sup>
D.S.S.S. de la grava	2100,84	kg/m <sup>3</sup>
Tamaño máximo NOMINAL de la grava	25	mm
Absorción de la grava	2,72	%
Humedad de la grava	2,28	%