



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM² CON
DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y
NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL
UBICADO EN LA VIA SHELL – MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO –
PROVINCIA DE PASTAZA.**

AUTOR: Jefferson Raúl Caiza Yungán

TUTOR: Ing. MSc. Betzabeth Jessenia Suquillo Ronquillo

Ambato – Ecuador

Septiembre – 2020

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil bajo el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL – MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO – PROVINCIA DE PASTAZA”**, elaborado por el Sr. Jefferson Raúl Caiza Yungán, con CI: 1600745556, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2020



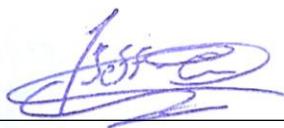
Ing. MSc. Betzabeth Jessenia Suquillo Ronquillo

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Jefferson Raúl Caiza Yungán con CI: 1600745556, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL – MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO – PROVINCIA DE PASTAZA”**, así como también las tablas, los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2020



Jefferson Raúl Caiza Yungán

CI: 1600745556

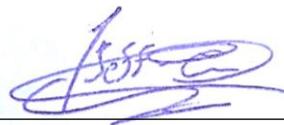
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2020



Jefferson Raúl Caiza Yungán

CI: 1600745556

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jefferson Raúl Caiza Yungán, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL – MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO – PROVINCIA DE PASTAZA”**.

Ambato, Septiembre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Maritza Elizabeth Ureña Aguirre

Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera

Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada en mi primer lugar a mis padres Raúl y Aurora, por su dedicación, amor y comprensión que me han brindado a lo largo de mi vida para formarme tanto personal como académicamente. Por sus ánimos y apoyo en cada etapa de mi vida que me han llevado a ser quien soy hoy en día y no darme por vencido ante las dificultades que se han presentado.

A mi hermano Klever, por estar siempre ahí en las buenas y en las malas, por su apoyo incondicional y moral para darme las fuerzas que me han impulsado a lograr muchos de los objetivos realizados.

A toda mi familia abuelos, tíos y primos que de una u otra manera me han ayudado a lo largo del camino con consejos y motivaciones para alcanzar mis sueños.

Jefferson Caiza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por la vida, la salud y por tener la oportunidad de seguir creciendo personalmente y mejorando cada día.

A toda mi familia que me apoya incondicionalmente y quienes han estado ahí en cada etapa de mi vida.

A todos mis compañeros y amigos con quienes me formé a lo largo de mi carrera universitaria, por cada chiste, consejo y alegrías vividas.

A mi tutora de tesis, Ing. Mg. Betzabeth Suquillo, por su guía y paciencia brindada para la realización de esta investigación.

A todo y cada uno de los docentes quienes me impartieron sus conocimientos tanto académicos como humanísticos para formarme como el profesional que deseo ser.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xviii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xxii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1 Antecedentes.....	1

1.1.2	Justificación	4
1.1.3	Fundamentación Teórica.....	5
1.1.3.1	Hormigón	5
1.1.3.2	Componentes del Hormigón	7
1.1.3.2.1	El Cemento	7
1.1.3.2.1.1	Tipos de Cementos.....	7
1.1.3.2.2	Agregados Pétreos	10
1.1.3.2.2.1	Agregado Grueso	10
1.1.3.2.2.2	Agregado Fino	10
1.1.3.2.3	Agua.....	11
1.1.3.2.3.1	Agua de mezclado.....	11
1.1.3.2.3.2	Agua de curado	11
1.1.3.2.3.3	Relación agua-cemento	12
1.1.3.3	Adiciones minerales	12
1.1.3.3.1	Escorias de alto horno.....	12
1.1.3.3.2	Humo de sílice	13
1.1.3.3.3	Ceniza volante.....	13
1.1.3.3.4	Silicato de sodio.....	13
1.1.3.4	Aditivos químicos	14
1.1.3.5	Uso de Nano materiales	15
1.1.3.5.1	Nano-hierro.....	16
1.1.3.5.2	Nano-alúmina.....	16
1.1.3.5.3	Nano-sílice	16
1.1.3.6	Propiedades generales del hormigón.....	17
1.1.3.6.1	En estado fresco	17
1.1.3.6.1.1	Consistencia	17

1.1.3.6.1.2	Trabajabilidad	18
1.1.3.6.1.3	Homogeneidad	19
1.1.3.6.1.4	Peso específico	19
1.1.3.6.2	En estado endurecido	19
1.1.3.6.2.1	Densidad	19
1.1.3.6.2.2	Permeabilidad	19
1.1.3.6.2.3	Compacidad	20
1.1.3.6.2.4	Porosidad.....	20
1.1.3.6.2.5	Resistencia a la compresión	20
1.1.3.6.2.6	Resistencia a la flexión	21
1.1.3.6.2.7	Módulo de elasticidad	22
1.1.4	Hipótesis	22
1.2	OBJETIVOS	23
1.2.1	Objetivo General.....	23
1.2.2	Objetivos Específicos	23
CAPÍTULO II	24
METODOLOGÍA	24
Bibliográfica.....		24
Laboratorio		24
Exploratorio.....		24
Descriptivo		25
Experimental		25
Población y Muestra.....		25
Delimitación de la muestra		25
2.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....		27
2.1.1 Materiales		27

2.1.1.1	Cemento Hidráulico	27
2.1.1.2	Agregado Grueso	28
2.1.1.3	Agregado Fino	28
2.1.1.4	Agua.....	29
2.1.1.5	Silicato de Sodio	30
2.1.1.6	Nanosílice	30
2.1.2	Equipos	31
2.1.2.1	Horno eléctrico	31
2.1.2.2	Máquina de los ángeles.....	32
2.1.2.3	Máquina para la prueba de compresión del hormigón.....	32
2.1.2.4	Herramienta menor	33
2.2	MÉTODOS	33
2.2.1	Plan de Recolección de Datos	33
2.2.1.1	Obtención de los agregados pétreos.....	33
2.2.1.2	Mina Santa Isabel.....	36
2.2.1.3	Ensayo de abrasión del agregado grueso	38
2.2.1.4	Granulometría de los agregados	40
2.2.1.4.1	Tamaño máximo.....	43
2.2.1.4.2	Tamaño Nominal máximo (agregado grueso).....	43
2.2.1.4.3	Módulo de finura (agregado fino).....	43
2.2.1.5	Peso volumétrico compactado y suelto de los agregados	43
2.2.1.6	Densidad relativa y capacidad de absorción de los agregados	44
2.2.1.7	Contenido de humedad de los agregados.....	44
2.2.1.8	Densidad real del cemento	45
2.2.2	Plan de Procesamiento y Análisis de Información	45
2.2.2.1	Dosificación	45

2.2.2.1.1 Método de densidad óptima	45
2.2.2.2 Ensayo de Resistencia a la Compresión	49
2.2.2.3 Ecuación de predicción de la resistencia a la compresión	50
CAPÍTULO III	51
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	51
3.1.1 Ensayo de los agregados pétreos	51
3.1.2 Dosificación.....	62
3.1.3 Dosificación al peso de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	65
3.1.4 Dosificación al peso con adición de silicato de sodio	66
3.1.5 Dosificación al peso con adición de nanosílice	69
3.1.6 Propiedades del hormigón en estado fresco	72
3.1.7 Revenimiento de los hormigones	79
3.1.8 Ensayo de la resistencia a la compresión de los hormigones	82
3.1.8.1 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$	82
3.1.8.2 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de silicato de sodio	85
3.1.8.3 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con adición de nanosílice	98
3.1.9 Resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados	111
3.1.10 Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm^2 con la ecuación de predicción y la resistencia relativa esperada.....	114
3.1.11 Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm^2 con adición de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada	119
3.1.12 Determinación de la ecuación de predicción con adición de silicato de sodio	139

3.1.13 Determinación de la ecuación de predicción con adición de nanosílice ...	149
3.1.14 Comparación de las dosificaciones realizadas mediante las variables escogidas	159
3.1.15 Determinación de la dosificación óptima por cada tipo de adición	189
3.1.16 Comparación de las dosificaciones óptimas de silicato de sodio y nanosílice	197
3.1.17 Valores Unitarios.....	201
3.1.18 Análisis Coste – Beneficio	210
3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	213
Hipótesis.....	213
Verificación de hipótesis.....	213
CAPÍTULO IV	214
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	214
4.1 CONCLUSIONES	214
4.2 RECOMENDACIONES	217
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....	218
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	218
ANEXOS	223
A1. Ensayos de los agregados pétreos	223
A2. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	233
A3. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de silicato de sodio	236
A4. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de nanosílice	240

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cementos Portland según ASTM C150	7
Tabla 2. Tipos de cementos hidráulicos según ASTM C1157	8
Tabla 3. Tipos de cementos Portland según NTE INEN 152	9
Tabla 4. Cemento hidráulicos compuestos según ASTM C595 y NTE INEN 490 ..	10
Tabla 5. Clasificación de aditivos químicos según la norma ASTM C494	15
Tabla 6. Clasificación de los hormigones frescos por su consistencia.....	18
Tabla 7. Número de cilindros a realizar	26
Tabla 8. Coordenadas UTM de la ubicación de la Mina Santa Isabel	36
Tabla 9. Especificaciones de carga para el número de esferas.....	39
Tabla 10. Gradación de las muestras.....	39
Tabla 11. Tamaño de los tamices para el agregado grueso según la norma ASTM E11 y NTE INEN 872	40
Tabla 12. Tamaño de los tamices para el agregado fino según la norma ASTM E11 y NTE INEN 872	41
Tabla 13. Límites granulométricos para el agregado grueso según la norma ASTM C33 y NTE INEN 872.....	41
Tabla 14. Límites granulométricos para el agregado fino según la norma ASTM C33 y NTE INEN 872	42
Tabla 15. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de acuerdo a la relación agua/cemento (W/C).	46
Tabla 16. Cantidad de pasta porcentual de acuerdo a su asentamiento.....	47
Tabla 17. Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles	51
Tabla 18. Granulometría del agregado grueso	53
Tabla 19. Granulometría del agregado fino	54
Tabla 20. Peso Volumétrico suelto y compactado de los agregados	55
Tabla 21. Densidad aparente óptima de la mezcla de agregados	56
Tabla 22. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso	58
Tabla 23. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino	59
Tabla 24. Determinación del contenido de humedad de los agregados	60
Tabla 25. Densidad real del cemento	61

Tabla 26. Dosificación de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ mediante Método de Densidad Óptima.....	63
Tabla 27. Dosificación al peso del Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	65
Tabla 28. Dosificación al peso con 4% de adición de silicato de sodio.....	66
Tabla 29. Dosificación al peso con 8% de adición de silicato de sodio.....	67
Tabla 30. Dosificación al peso con 12% de adición de silicato de sodio.....	68
Tabla 31. Dosificación al peso con 1% de adición de nanosílice	69
Tabla 32. Dosificación al peso con 3% de adición de nanosílice	70
Tabla 33. Dosificación al peso con 5% de adición de nanosílice	71
Tabla 34. Propiedades del hormigón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ en estado fresco	72
Tabla 35. Propiedades del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio en estado fresco	73
Tabla 36. Propiedades del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio en estado fresco	74
Tabla 37. Propiedades del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio en estado fresco	75
Tabla 38. Propiedades del hormigón con 1% de adición de nanosílice en estado fresco	76
Tabla 39. Propiedades del hormigón con 3% de adición de nanosílice en estado fresco	77
Tabla 40. Propiedades del hormigón con 5% de adición de nanosílice en estado fresco	78
Tabla 41. Resultados de los asentamientos de los Hormigones	79
Tabla 42. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7 días.....	82
Tabla 43. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ a los 14 días.....	83
Tabla 44. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ a los 28 días.....	84
Tabla 45. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 7 días.....	85
Tabla 46. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 14 días.....	86
Tabla 47. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 28 días.....	87

Tabla 48. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 7 días.....	88
Tabla 49. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 14 días.....	89
Tabla 50. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 28 días.....	90
Tabla 51. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 7 días.....	91
Tabla 52. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 14 días.....	92
Tabla 53. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 28 días.....	93
Tabla 54. Comparación de la densidad y la resistencia del hormigón con silicato de sodio en estado endurecido	94
Tabla 55. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 7 días	98
Tabla 56. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 14 días	99
Tabla 57. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 28 días	100
Tabla 58. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 7 días	101
Tabla 59. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 14 días	102
Tabla 60. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 28 días	103
Tabla 61. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 7 días	104
Tabla 62. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 14 días	105
Tabla 63. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 28 días	106

Tabla 64. Comparación de la densidad y la resistencia del hormigón con nanosílice en estado endurecido.....	107
Tabla 65. Resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados	111
Tabla 66. Resistencia esperada mediante la ecuación de predicción a partir de los 7 días y su resistencia relativa	114
Tabla 67. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión	119
Tabla 68. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión	122
Tabla 69. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión	125
Tabla 70. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión	128
Tabla 71. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión	131
Tabla 72. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión	134
Tabla 73. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 4% de adición silicato de sodio	140
Tabla 74. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 8% de adición silicato de sodio	143
Tabla 75. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 12% de adición silicato de sodio	146
Tabla 76. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 1% de adición nanosílice	150
Tabla 77. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 3% de adición nanosílice	153
Tabla 78. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 5% de adición nanosílice	156
Tabla 79. Comparación del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio	159
Tabla 80. Comparación del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio	164

Tabla 81. Comparación del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio	169
Tabla 82. Comparación del hormigón con 1% de adición de nanosílice	174
Tabla 83. Comparación del hormigón con 3% de adición de nanosílice	179
Tabla 84. Comparación del hormigón con 5% de adición de nanosílice	184
Tabla 85. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	201
Tabla 86. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 4% de adición de silicato de sodio	202
Tabla 87. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 8% de adición de silicato de sodio	203
Tabla 88. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 12% de adición de silicato de sodio	204
Tabla 89. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 1% de adición de nanosílice.....	205
Tabla 90. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de adición de nanosílice.....	206
Tabla 91. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de adición de nanosílice.....	207
Tabla 92. Comparación de costos por m^3 de cada tipo de hormigón	210

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Ensayo Cono de Abrams	18
Imagen 2. Cemento Hidráulico Tipo GU	27
Imagen 3. Agregado Grueso (Ripio)	28
Imagen 4. Agregado Fino (Arena)	29
Imagen 5. Agua de mezclado	29
Imagen 6. Silicato de Sodio Líquido	30
Imagen 7. Nanosílice	31
Imagen 8. Horno eléctrico	31
Imagen 9. Máquina de los Ángeles	32
Imagen 10. Máquina para ensayo a compresión del hormigón.....	33
Imagen 11. Mina Santa Isabel	34

Imagen 12. Zarandeo de los agregados pétreos.....	35
Imagen 13. Diferentes tipos de agregados que comercializa la mina	36
Imagen 14. Ubicación de la Mina Santa Isabel.....	37

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Densidad Real de la Mezcla	46
Ecuación 2. Porcentaje Óptimo de Vacíos	47
Ecuación 3. Cantidad de Cemento	48
Ecuación 4. Cantidad de agua	48
Ecuación 5. Cantidad de Arena	48
Ecuación 6. Cantidad de Ripio.....	48
Ecuación 7. Dosificación al peso de los materiales (W, A, R)	49
Ecuación 8. Cantidad de los materiales (W, A, R) para un saco de cemento	49
Ecuación 9. Ecuación de predicción de la resistencia a la compresión.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Asentamiento de los Hormigones	80
Gráfico 2. Densidad en estado endurecido con adición de silicato de sodio	95
Gráfico 3. Resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio.....	96
Gráfico 4. Densidad en estado endurecido con adición de nanosílice	108
Gráfico 5. Resistencia a la compresión con adición de nanosílice	109
Gráfico 6. Resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio y nanosílice	112
Gráfico 7. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón patrón y la ecuación de predicción.....	115
Gráfico 8. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón patrón y la resistencia relativa esperada.....	117
Gráfico 9. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 4% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada.....	120

Gráfico 10. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 8% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada.....	123
Gráfico 11. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 12% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada.....	126
Gráfico 12. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 1% de nanosílice y su resistencia relativa esperada.....	129
Gráfico 13. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 3% de nanosílice y su resistencia relativa esperada.....	132
Gráfico 14. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 5% de nanosílice y su resistencia relativa esperada.....	135
Gráfico 15. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio.....	139
Gráfico 16. Determinación de la Ecuación de Predicción con 4% de adición de silicato de sodio.....	141
Gráfico 17. Determinación de la Ecuación de Predicción con 8% de adición de silicato de sodio.....	144
Gráfico 18. Determinación de la Ecuación de Predicción con 12% de adición de silicato de sodio.....	147
Gráfico 19. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de nanosílice.....	149
Gráfico 20. Determinación de la Ecuación de Predicción con 1% de adición de nanosílice.....	151
Gráfico 21. Determinación de la Ecuación de Predicción con 3% de adición de nanosílice.....	154
Gráfico 22. Determinación de la Ecuación de Predicción con 5% de adición de nanosílice.....	157
Gráfico 23. Curva de resistencia a la compresión con 4% de adición de silicato de sodio.....	160
Gráfico 24. Comparación de la resistencia a la compresión con 4% de adición de silicato de sodio.....	161
Gráfico 25. Comparación del asentamiento con 4% de adición de silicato de sodio.....	162

Gráfico 26. Curva de resistencia a la compresión con 8% de adición de silicato de sodio	165
Gráfico 27. Comparación de la resistencia a la compresión con 8% de adición de silicato de sodio.....	166
Gráfico 28. Comparación del asentamiento con 8% de adición de silicato de sodio	167
Gráfico 29. Curva de resistencia a la compresión con 12% de adición de silicato de sodio	170
Gráfico 30. Comparación de la resistencia a la compresión con 12% de adición de silicato de sodio.....	171
Gráfico 31. Comparación del asentamiento con 12% de adición de silicato de sodio	172
Gráfico 32. Curva de resistencia a la compresión con 1% de nanosílice.....	175
Gráfico 33. Comparación de la resistencia a la compresión con 1% de adición de nanosílice.....	176
Gráfico 34. Comparación del asentamiento con 1% de adición de nanosílice	177
Gráfico 35. Curva de resistencia a la compresión con 3% de nanosílice.....	180
Gráfico 36. Comparación de la resistencia a la compresión con 3% de adición de nanosílice.....	181
Gráfico 37. Comparación del asentamiento con 1% de adición de nanosílice	182
Gráfico 38. Curva de resistencia a la compresión con 5% de nanosílice.....	185
Gráfico 39. Comparación de la resistencia a la compresión con 5% de adición de nanosílice.....	186
Gráfico 40. Comparación del asentamiento con 5% de adición de nanosílice	187
Gráfico 41. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio	189
Gráfico 42. Comparación del aumento de la resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón	190
Gráfico 43. Comparación de los asentamientos con adición de silicato de sodio...	191
Gráfico 44. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de nanosílice	193

Gráfico 45. Comparación del aumento de la resistencia a la compresión con adición de nanosílice con respecto al hormigón patrón	194
Gráfico 46. Comparación de los asentamientos con adición de nanosílice	195
Gráfico 47. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice	197
Gráfico 48. Comparación de la resistencia a la compresión con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice	198
Gráfico 49. Comparación de los asentamientos con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice	199
Gráfico 50. Valor unitario por cada dosificación con silicato de sodio	208
Gráfico 51. Valor unitario por cada dosificación con nanosílice	208
Gráfico 52. Análisis costo – beneficio por m ³ hormigón con adición de silicato de sodio	211
Gráfico 53. Análisis costo – beneficio por m ³ hormigón con adición de nanosílice	211

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Masa de la muestra por el método de gradación B.	223
Fotografía 2. Colocación de la muestra en la máquina de los ángeles.	223
Fotografía 3. Retiro del material después de las 500 revoluciones.	223
Fotografía 4. Masa de la muestra retenida en el tamiz #12.	223
Fotografía 5. Agregado grueso a utilizar	224
Fotografía 6. Tamices a utilizar	224
Fotografía 7. Vertido del material por los tamices	224
Fotografía 8. Recolección de la cantidad de material retenido en cada tamiz.....	224
Fotografía 9. Agregado Fino a utilizar.....	225
Fotografía 10. Tamices a utilizar	225
Fotografía 11. Vertido del material por los tamices	225
Fotografía 12. Ensayo de granulometría del agregado fino en la tamizadora	225
Fotografía 13. Masa del molde	226
Fotografía 14. Peso volumétrico suelto	226

Fotografía 15. Peso volumétrico compactado	226
Fotografía 16. Peso del agregado grueso en condición suelta	226
Fotografía 17. Peso volumétrico suelto	227
Fotografía 18. Peso volumétrico compactado	227
Fotografía 19. Enrasado del agregado fino condición compactada	227
Fotografía 20. Peso del agregado fino en condición suelta	227
Fotografía 21. Porcentaje de mezcla 100% agregado grueso	228
Fotografía 22. Adición de porcentaje de arena en la mezcla	228
Fotografía 23. Mezcla de los agregados	228
Fotografía 24. Enrasado de la mezcla compactada de los agregados antes de su pesaje	228
Fotografía 25. Preparación de la muestra sumergida en agua	229
Fotografía 26. Secado de la muestra hasta alcanzar el estado saturado superficie seca (S.S.S)	229
Fotografía 27. Peso de la muestra en S.S.S más la canastilla	229
Fotografía 28. Pesaje de la muestra en S.S.S para determinar su capacidad de absorción	229
Fotografía 29. Preparación de la muestra hasta alcanzar el estado S.S.S	230
Fotografía 30. Colocación de la muestra (S.S.S) en el picnómetro	230
Fotografía 31. Eliminando los vacíos de la muestra en S.S.S más agua	230
Fotografía 32. Pesaje de la muestra en S.S.S para determinar su capacidad de absorción	230
Fotografía 33. Preparación de las muestras de agregado fino y grueso.....	231
Fotografía 34. Pesaje del agregado fino.....	231
Fotografía 35. Pesaje del agregado grueso	231
Fotografía 36. Colocación de las muestras en el horno para determinar su contenido de humedad	231
Fotografía 37. Colocación de la muestra de cemento en el picnómetro	232
Fotografía 38. Gasolina añadida	232
Fotografía 39. Peso de la muestra de cemento y la gasolina añadida.....	232
Fotografía 40. Peso de los 500 cm ³ de gasolina.....	232
Fotografía 41. Medición de las dimensiones de los moldes cilíndricos	233

Fotografía 42. Tamizado de los agregados	233
Fotografía 43. Pesaje de cada uno de los agregados.....	233
Fotografía 44. Mezclado de los materiales	233
Fotografía 45. Determinación del asentamiento	234
Fotografía 46. Elaboración de cada uno de los especímenes de hormigón	234
Fotografía 47. Finalización de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$	234
Fotografía 48. Desmolde de cada uno de los especímenes de hormigón	234
Fotografía 49. Colocación de los especímenes en la cámara de curado	235
Fotografía 50. Medición de la altura y diámetro de los especímenes a ensayar.....	235
Fotografía 51. Colocación de la probeta de hormigón en la máquina de compresión	235
Fotografía 52. Resultados obtenidos por la máquina de compresión	235
Fotografía 53. Medición del diámetro interior de los cilindros	236
Fotografía 54. Pesaje de los moldes cilíndricos vacíos	236
Fotografía 55. Pesaje de la adición de silicato de sodio	236
Fotografía 56. Dosificación al peso de cada uno de los materiales	236
Fotografía 57. Vertido de los agregados	237
Fotografía 58. Mezclado de los materiales	237
Fotografía 59. Adición de silicato de sodio en la mezcla	237
Fotografía 60. Determinación del asentamiento	237
Fotografía 61. Elaboración de los especímenes de hormigón con adición de silicato de sodio	238
Fotografía 62. Finalización de los especímenes de hormigón	238
Fotografía 63. Pesaje de los moldes llenos de hormigón en estado fresco.....	238
Fotografía 64. Desmolde de los especímenes antes de curarlos	238
Fotografía 65. Curado de los especímenes	239
Fotografía 66. Medición del diámetro de los especímenes previo su secado	239
Fotografía 67. Preparación de los especímenes antes de su ensaye.....	239
Fotografía 68. Especímenes de hormigón después del ensaye	239
Fotografía 69. Toma de las medidas de los cilindros para el ensaye.....	240
Fotografía 70. Pesaje de los moldes cilíndricos vacíos	240
Fotografía 71. Pesaje de la adición de nanosílice	240

Fotografía 72. Dosificación al peso de cada uno de los materiales	240
Fotografía 73. Vertido de los materiales.....	241
Fotografía 74. Mezclado de los materiales	241
Fotografía 75. Adición de nanosílice en la mezcla.....	241
Fotografía 76. Determinación del asentamiento	241
Fotografía 77. Elaboración de cada uno de los especímenes de hormigón	242
Fotografía 78. Finalización de los especímenes de hormigón con adición de nanosílice	242
Fotografía 79. Pesaje de cada uno de los moldes llenos de hormigón con adición de nanosílice.....	242
Fotografía 80. Desmolde de los especímenes antes de curarlos	242
Fotografía 81. Curado de los especímenes	243
Fotografía 82. Medición del diámetro de los especímenes previo su secado	243
Fotografía 83. Ensaye a compresión de los especímenes con adición de nanosílice	243
Fotografía 84. Resultados obtenidos en la máquina de compresión.....	243

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental se realizó con el fin de determinar la influencia que presenta el silicato de sodio y el nanosílice como sustitutivos parciales del cemento en la resistencia a la compresión del hormigón y su comportamiento en el diseño de la mezcla. Inicialmente se realiza el análisis de las propiedades físico mecánicas de los agregados pétreos procedentes de la Mina Santa Isabel ubicada en la vía Shell – Madre Tierra de la ciudad del Puyo, Provincia de Pastaza, de las cuales se obtuvieron buenos resultados que cumplen con la norma NTE INEN Y ASTM.

Previa investigación de estas dos adiciones se realizó la dosificación del hormigón patrón de resistencia a la compresión de 240 Kilogramos por centímetro cuadrado, la cual sirvió de base para sustituir parcialmente el cemento con silicato de sodio en concentraciones del 4 por ciento, 8 por ciento y 12 por ciento y con nanosílice al 1 por ciento, 3 por ciento y 5 por ciento. Elaborándose los especímenes respectivos con cada una de las adiciones las cuales fueron ensayadas a compresión a los 7, 14 y 28 días.

Determinándose que la adición óptima de silicato de sodio fue la del 8 por ciento y de nanosílice la del 3 por ciento con unas resistencias a la compresión a los 28 días de 276.58 Kilogramos por centímetro cuadrado y de 355.31 Kilogramos por centímetro cuadrado respectivamente, denotándose un aumento considerable al valor referencial. Tras analizar las variables de resistencia, asentamiento, consistencia y trabajabilidad se determinó que la adición con mejores resultados y que presenta un ahorro económico en la construcción es la adición con 3 por ciento de nanosílice.

ABSTRACT

This paper has been carried out in order to determine the influence of sodium silicate and nanosilica as partial substitutes for cement on the compressive strength of concrete and its performance in the mix design. Initially it was carried out the analysis of the physical-mechanical properties of the stone aggregates from the Santa Isabel Mine located on the Shell - Madre Tierra road in Puyo city, Pastaza Province, from which good results were obtained that comply with NTE INEN and ASTM standards.

After an investigation of these two additions, the standard concrete dosage of compressive strength of 240 kilograms per square centimeter was carried out, and it was used as a reference for partially replacing the cement with sodium silicate in concentrations at 4 per cent, 8 per cent and 12 per cent and nanosilica at 1 per cent, 3 per cent and 5 per cent. The respective specimens were prepared with each of the additions and tested for compression at 7, 14 and 28 days.

It was determined that the optimum addition of sodium silicate was 8 per cent and of nanosilica was 3 per cent with compressive strengths of 276.58 kilograms per square centimeter and 355.31 kilograms per square centimeter respectively, both measured at 28 days, denoting a considerable increase in compressive strength from the reference value. After analyzing the variables of resistance, settlement, consistency and workability, it was determined that the best performing addition and with economic savings in construction is the addition with 3 per cent of nanosilica.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.1.1 Antecedentes

El creciente desarrollo que se da en el área de la construcción viene acompañada de proyectos cada vez más complejos y arriesgados, los cuales conlleva a obtener mejores hormigones para construir edificios más altos y grandes estructuras que tengan buenas propiedades mecánicas [1].

Desde los años 30 se evidenció la optimización de las propiedades del Clínker con el fin de obtener una mayor durabilidad y resistencia del hormigón, lográndose tener mayor conocimiento de sus propiedades físicas y mecánicas. La combinación de nuevos materiales para mejorar las propiedades del mortero y el hormigón, han impulsado el avance de muchos estudios hasta la actualidad, donde el objetivo principal de muchos investigadores es lograr materiales más resistentes y durables, para lo cual se han utilizado diferentes metodologías tales como las variaciones en la dosificación, utilización de adiciones químicas o minerales, sustitución de materiales, usos de nanopartículas y fibras, etc y muchas técnicas que en el campo de los hormigones antes eran inimaginables [2].

En la actualidad el uso de nanomateriales se está dando en diversas industrias como la de los alimentos, metalmecánica, en la construcción, en el campo de la salud, en la energía y muchos más, que entre las más utilizadas son las de sílice, alúmina, titanio y hierro. Mientras que en el campo de la Ingeniería Civil están dadas al uso del nanosílice, cuya mayoría de estudios afirman que su uso en el hormigón produce

cambios microestructurales ya que este funciona como un activador de las reacciones puzolánicas [3].

Existen algunos estudios sobre el uso de nano sílice y su influencia en el hormigón en diferentes países tales como España, México, Colombia, Perú, Venezuela y últimamente en el Ecuador.

Entre los estudios más relevantes tenemos a Lurdes Morejón que en su investigación “MORTEROS DE CEMENTO CON ADICIONES DE HUMO DE SÍLICE Y NANOSÍLICE” compara el microsíllice (8%, 6% y 4%) con el nanosíllice (0%, 1% y 2%) al peso del cemento y concluye que en cuanto a resistencias todas las adiciones dan buenos resultados y que en el menor de los casos existe un 5% de ganancia en resistencia a la compresión a los 28 días, y recomienda realizar ensayos en períodos tempranos para determinar su comportamiento mecánico [2].

Mientras que Thiago Zanon y Rosana Schmalz en una investigación realizada al efecto del nanosíllice en el hormigón denominado “EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL NANOSÍLICE EN HORMIGONES SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE IONES CLORUROS” determinó que en la adición entre el 0.1% a 0.5% no mejoró en ninguno de los hormigones ensayados pero que en un porcentaje entre el 0.5 y 0.7 % de nanosíllice mezclado con 10% de sílice si hubo un aumento en la resistencia a la compresión, reducción de absorción capilar y reducción de la penetración de cloruros [4].

Vladimir Chacón haciendo uso de nanomateriales en una investigación denominada “HORMIGONES CON NANO ADICIONES Y FIBRAS DE ACERO” realizó varios ensayos en los cuales adicionó 2% de nanosíllice, 2% de nano alúmina y también fibras de acero (porcentaje de mezcla) a un hormigón convencional en el cual este reafirma lo dicho por otros autores que la incorporación de nanomateriales en el hormigón mejora sus prestaciones especialmente para los hormigones que vayan a estar

expuestos a ambientes agresivos y que con la incorporación de fibras de acero dan aún más durabilidad como para ser utilizados en pavimentos de hormigón, recubrimientos de túneles, etc. [5]

En la utilización de adiciones químicas o minerales hay que tener en cuenta que estas no actúan solamente en el cemento sino en todo el componente de mezcla, que incluye los agregados pétreos, el cemento hidráulico y el agua a fin de mejorar sus propiedades. El uso del silicato de sodio como adición mineral para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón aún no es muy estudiada debido a que este es un producto que se utiliza principalmente en la industria de jabones, detergentes, cerámicas o pinturas, pero sin embargo últimamente también se utiliza como acelerante e impermeabilizante en la elaboración de hormigón [6].

Debido a esto en un estudio realizado por Nestor Amaris y Vladimir Panquera con el uso del silicato de sodio en el hormigón bajo el nombre de “USO DEL SILICATO DE SODIO COMO ADICIÓN NATURAL DEL CONCRETO HIDRAULICO” determinó que en diversas proporciones (0%, 6%, 9% y 12%) aumentaron su resistencia a la compresión a los 28 días con respecto a aquella sin adición de silicato de sodio [6].

El silicato de sodio se lo puede encontrar en estado sólido o líquido, el cual está conformado por óxido de sodio (Na_2O) y óxido de silicio (SiO_2) que dependiendo de su composición brindará mejores propiedades físicas y químicas. El silicato de sodio al ser fácil de manejar, no tóxico y no inflamable es un producto que tiene una gama de aplicaciones y puede ser sustitutivo en varias formulaciones incluyendo el hormigón y procesos que busquen una alternativa ecológica [7].

En otra investigación realizada por Lester Espinoza e Iván Escalante denominado “COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO UTILIZANDO ESCORIA DE ALTO HORNO COMO REEMPLAZO PARCIAL Y TOTAL DEL

CEMENTO PORTLAND ORDINARIO” con dos tipos de concreto, el primero adicionado al 30%, 50% y 70% con escoria de altos hornos (EAH) y otro con el 100% de escorias de alto horno pero activada con 4%, 6% y 8% de silicato de sodio determinaron que la sustitución parcial de EAH no tuvo buenos resultados para las propiedades mecánicas en comparación con los ensayos de concreto normal, pero sin embargo en la sustitución total de EAH pero activadas con silicatos de sodio resultó en propiedades mecánicas superiores [8].

1.1.2 Justificación

En la industria de la construcción existe una gran cantidad de materiales, donde probablemente el hormigón sea el material constructivo más utilizado por su gran capacidad de moldeo, su resistencia y costo accesible. Conforme la tecnología crece al mismo tiempo avanza el campo de la tecnología en el hormigón. Hoy en día los diseños tienden a ser más exigentes con respecto a la resistencia de diseño debido a diversos factores que se pueden dar en el campo de la construcción tales como fallo de los materiales, fallos en el diseño o por factores incontrolables como sobrecargas, terremotos, inundaciones, entre otros [9].

En el país los hormigones de alta resistencia (HAR) principalmente se desarrollan con adiciones de microsílíce y plastificantes, los cuales han tenido buenos resultados tanto a nivel nacional como a nivel mundial. No obstante se ha demostrado que el uso prolongado de microsílíce al ser un polvo muy fino, fácilmente puede ser inhalado en el momento de mezclado si no se tienen las respectivas normas de seguridad y pueden generar problemas de salud como la silicosis [10]. Mientras que la nanosílíce al ser un nanomaterial en estado líquido haciendo uso de la nanotecnología en aplicación de materiales como el hormigón, abre una nueva forma de obtención de materiales en construcción, más resistentes, durables, menos tóxicos y más tenaces de los que se han utilizado hasta ahora [5].

Debido a esto el presente proyecto tiene como propósito brindar dos nuevas adiciones alternativas, de acuerdo a investigaciones previas, para la elaboración de hormigones con una mayor resistencia a la compresión que la diseñada. Siendo estas el silicato de sodio y nanosílice como adiciones sustitutivas parciales del cemento para mejorar las propiedades físico mecánicas del hormigón y disminuir costos en comparación de la composición tradicional del hormigón. Esta investigación beneficia en gran manera tanto a profesionales como al sector de la construcción en el país, a menor y gran escala ya que trata de incluirlos en un hormigón hidráulico de uso común (Tipo GU) que es el más utilizado para la construcción en general [11].

Esta investigación al brindar materiales alternativos para aumentar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón, pretende mejorar la resistencia y la durabilidad de las edificaciones con lo cual se dará un mayor índice de seguridad para las mismas [2]. Además fortalece el progreso económico del país con el desarrollo de nuevos hormigones que serán más efectivos principalmente en obras a gran escala donde la inversión es grande y se requiere mayor resistencia y durabilidad.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Hormigón

El hormigón es un material compuesto conformado por una mezcla de pasta de cemento hidratado (cemento Portland o cemento hidráulico más agua) y partículas de roca de diferentes tamaños también llamados agregados pétreos; agregado grueso (grava) y agregado fino (arena). Por lo cual el desempeño de este material dependerá principalmente de las propiedades de estos dos componentes y su reacción en conjunto [12].

Al realizar las mezclas para la conformación de hormigones también se pueden añadir aditivos o materiales puzolánicos naturales o artificiales como sustitutivos parciales

del cemento con el fin de mejorar las propiedades físico-mecánicas del hormigón como por ejemplo darle mayor resistencia a la compresión, reducción de la absorción a iones cloruros y reducción de la absorción capilar [13].

La durabilidad del hormigón es la capacidad que este tiene para resistir principalmente dos factores importantes los cuales son; los relacionados con el ambiente en donde se encuentra expuesto y aquellos que se relacionan con las características propias del hormigón.

Con respecto al primer factor que es el relacionado con el ambiente en donde se encuentra expuesto, podemos referir varios ejemplos como: solicitación a la que estará expuesta la estructura, agresividad del ambiente, condiciones climáticas del entorno y altas temperaturas ocasionadas por un incendio o altas deformaciones producto de un sismo.

Mientras que aquellos factores que se relacionan con las características propias del hormigón son: factores que tienen que ver con la ejecución del proyecto como herramientas y materiales a utilizar, dosificaciones, técnicas y especificaciones de construcción y el mantenimiento que se le den a las estructuras.

Así todos estos factores se deben tomar bastante en cuenta para lograr la durabilidad del hormigón y cumplir con la vida útil de la estructura. Sin embargo controlar el factor relacionado con el ambiente de exposición del hormigón resulta muy difícil y de gran magnitud por lo que la opción más viable es influir en las características propias del hormigón para el control de la durabilidad de los proyectos [13].

1.1.3.2 Componentes del Hormigón

1.1.3.2.1 El Cemento

El cemento Portland es un material conglomerante moldeable, resistente y duradero de tipo hidráulico utilizado en la construcción, el cual al mezclarse con agua crea una pasta que fragua, endurece y se adhiere a otros materiales uniéndolos entre sí. Es un producto artificial que resulta de la calcinación de mezclas homogéneas de caliza y arcilla, obteniéndose el llamado Clinker. El Clinker está conformado por silicatos y aluminatos anhidros, los cuales se pulverizan en conjunto con el yeso para formar el cemento y retardar su fraguado. El cemento al mezclarse con agregado fino (arena) produce mortero que se utiliza para la mampostería, y al mezclarse con agregado fino (arena) y grueso (grava) se utilizan para formar hormigón [14].

1.1.3.2.1.1 Tipos de Cementos

Según la norma ASTM presenta dos diferentes grupos de tipos de cementos Portland y cementos hidráulicos con el fin de cumplir varias funciones dependiendo de lo que se necesite. La Norma ASTM C150 presenta los ocho tipos de cemento Portland con sus respectivos nombres y aplicaciones [15], los cuales son los siguientes:

Tabla 1. Tipos de cementos Portland según ASTM C150

Tipo	Nombre	Aplicación
Tipo I	Normal	De uso general el cual se utiliza cuando no se requiere de propiedades especiales.
Tipo IA	Normal	Del mismo uso que el del Tipo I pero donde se desee inclusión de aire.
Tipo II	Moderado	De uso general y donde se necesite una resistencia moderada a sulfatos o calor de hidratación.

Tipo IIA	Moderado	Del mismo uso que el del Tipo II pero donde se desee inclusión de aire.
Tipo III	Altas Resistencias	De uso donde se requiera altas resistencias tempranas.
Tipo IIIA	Altas Resistencias	Del mismo uso que el del Tipo III pero donde se desee inclusión de aire.
Tipo IV	Bajo Calor de Hidratación	De uso donde se requiera tener un bajo calor de hidratación.
Tipo V	Resistente a la Acción de Sulfatos	De uso general y donde se requiera alta resistencia a sulfatos.

Fuente: Norma ASTM C150 [15]

La Norma ASTM C1157 presenta los seis tipos de cementos hidráulicos basados en su desempeño [15], los cuales son los siguientes:

Tabla 2. Tipos de cementos hidráulicos según ASTM C1157

Tipo	Nombre	Aplicación
Tipo GU	Uso general	Para construcción en general cuando no se necesita propiedades especiales.
Tipo HE	Alta resistencia inicial	De uso cuando se requieran altas resistencias a edades tempranas.
Tipo MS	Moderada Resistencia a Sulfatos	De uso cuando se requiera moderada resistencia a sulfatos como por ejemplo en el uso de las tuberías de drenajes.
Tipo HS	Alta resistencia a sulfatos	De uso en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.
Tipo MH	Moderado calor de hidratación	De uso donde se requiera un moderado calor de hidratación.
Tipo LH	Bajo Calor de Hidratación	De uso donde se requiera un bajo calor de hidratación.

Fuente: Norma ASTM C1157 [15]

Mientras que la Norma NTE INEN de igual manera presenta dos diferentes grupos de tipos de cemento Portland y cementos hidráulicos. La norma NTE INEN 152 clasifica en diez tipos de cemento Portland con sus respectivos nombres y aplicaciones [16].

Tabla 3. Tipos de cementos Portland según NTE INEN 152

Tipo	Aplicación
Tipo I	De uso general, cuando no se requiera propiedades especiales de cualquier otro tipo de cemento.
Tipo IA	Para los mismos usos que del tipo I pero con incorporación de aire.
Tipo II	De uso general y cuando se desee una resistencia moderada a sulfatos.
Tipo II (MH)	De uso general, especialmente cuando se desee un calor de hidratación moderado y resistencia a sulfatos moderados.
Tipo II (MH) A	Para los mismos usos que del Tipo II (MH) pero con incorporación de aire.
Tipo III	De uso cuando se desee alta resistencia inicial.
Tipo IIIA	Para los mismos usos que del Tipo III pero con incorporación de aire.
Tipo IV	De uso cuando se desee bajo calor de hidratación
Tipo V	De uso cuando se desee alta resistencia a sulfatos.

Fuente: Norma NTE INEN 152 [16]

La Norma NTE INEN 2380 al igual que la ASTM C1157 presenta los seis mismos tipos de cementos hidráulicos por desempeño para aplicaciones generales y especiales (Ver tabla 2) [17].

Además a estos tipos de cementos existen los cementos hidráulicos compuestos, los cuales se utilizan en aplicaciones generales y especiales. Se utiliza el cemento Portland o Clinker del cemento Portland, con escoria o puzolana, o ambas, o escoria con cal. Según la norma ASTM C595 y la Norma NTE INEN 490 son los siguientes [18]:

Tabla 4. Cemento hidráulicos compuestos según ASTM C595 y NTE INEN 490

Tipo	Nombre
Tipo IS	Cemento Portland de escoria de altos hornos.
Tipo IP	Cemento Portland puzolánico.
Tipo IT	Cemento compuesto ternario

Fuente: Norma ASTM C595 y NTE INEN 490 [18]

Nota: Cemento compuesto ternario es cemento portland combinado con dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana [18].

1.1.3.2.2 Agregados Pétreos

1.1.3.2.2.1 Agregado Grueso

Los agregados gruesos están conformados básicamente por grava, una combinación de ellas o agregado triturado que generalmente son partículas mayores a los 5 mm y están entre 9.5 mm (3/8 in) y 37,5 mm (1 ½ in) el tamaño de sus partículas. Los agregados gruesos además deben cumplir ciertos requisitos para que tengan un buen desempeño, los cuales deben tener partículas limpias, durables, resistentes y que estén libres de productos químicos u otros materiales finos que afecten la hidratación o la adherencia de las pasta de cemento. Hay que tener en cuenta también que aquellas partículas que tiendan a resquebrajarse deben ser desechadas [19].

1.1.3.2.2.2 Agregado Fino

Los agregados finos están conformados básicamente por arena natural o piedra triturada cuya mayoría del tamaño de sus partículas son menores que los 5 mm. Al igual que los agregados gruesos estos deben cumplir ciertos requisitos para que se desempeñen correctamente como tener partículas limpias, durables, resistentes y que

se encuentren libre de productos químicos u otros materiales que afecten la hidratación o la adherencia de la pasta de cemento [19].

1.1.3.2.3 Agua

El agua es una sustancia que tiene la capacidad de combinarse químicamente con bastantes elementos incluyendo al hormigón ya que esta al reaccionar con el cemento hidráulico sirve de unión con los agregados y forman la pasta de cemento. La cual le brinda al hormigón sus propiedades de fraguado y endurecimiento [20].

1.1.3.2.3.1 Agua de mezclado

El agua que se utiliza en las mezclas de hormigón puede ser casi cualquier tipo de agua natural, principalmente que sea potable el cual no tenga olor ni sabor fuerte. Ya que aguas que presenten grandes impurezas tienden a afectar el tiempo de fraguado, disminuir la resistencia del hormigón, pueden ocasionar eflorescencia, corrosión del acero, aparición de manchas y tener menor durabilidad [20]. En el Ecuador para el agua de mezclado se rige a la norma NTE INEN 2617 en la cual establece los requisitos que esta debe cumplir para ser utilizada en la fabricación de hormigón hidráulico aunque sin embargo se permite el uso de agua potable normal sin la necesidad de realizar los ensayos que establece [21].

1.1.3.2.3.2 Agua de curado

El agua de curado es aquella cantidad de agua adicional que necesita el hormigón endurecido para alcanzar sus máximas condiciones de resistencia y durabilidad en un periodo de tiempo el cual dependerá del tipo de hormigón, situación de la obra y de las condiciones climáticas de su entorno. Por lo cual el proceso de curado es muy importante para la obtención de un buen hormigón ya que este proceso evita la pérdida de agua, que principalmente es por evaporación [20].

1.1.3.2.3.3 Relación agua-cemento

El agua resulta muy importante en la relación agua/cemento debido a que de ella depende muchas de las propiedades del hormigón final a obtener. Teniendo en cuenta que mientras más agua se añada mayor será la fluidez de la mezcla, su trabajabilidad y plasticidad, pero sin embargo comienza a disminuir la resistencia pues aumenta el volumen de espacios que se crean con el agua libre. Por lo que la resistencia del hormigón dependerá principalmente de la relación por peso del agua y el cemento [20].

1.1.3.3 Adiciones minerales

En la elaboración de hormigón constantemente se buscan nuevas opciones que puedan hacer que se utilice menos cemento en las mezclas de hormigón pero que al mismo tiempo se garantice la calidad de sus propiedades, así se han logrado encontrar adiciones minerales que puedan actuar como material cementante suplementario. Lográndose disminuir en gran manera el gasto de energía en su elaboración, e aprovecha algunos productos que se desechan de procesos industriales, disminuyen su coste de fabricación, y además mejoran la calidad del hormigón final. La utilización de adiciones minerales deben siempre tener un control estricto debido a que la resistencia es muy importante en el hormigón por lo cual no se utilizan altos porcentajes de material cementante suplementario, al menos que existan estudios previos que aseguren su resistencia [22].

1.1.3.3.1 Escorias de alto horno

Las escorias de alto horno son subproductos de la producción de hierro y acero en altos hornos finamente molidas. Es un material amigable con el medio ambiente debido a que existe en grandes cantidades y aprovecha el desecho de la producción de hierro y acero para la producción de hormigón. Entre las propiedades que mejora está la generación de fraguados más lentos y mayor resistencia en el hormigón endurecido [22].

1.1.3.3.2 Humo de sílice

El humo de sílice es un subproducto de los hornos eléctricos que producen sílice. Principalmente se lo utiliza para producir hormigones de alto desempeño que aumenta significativamente la resistencia a la compresión del hormigón. Sin embargo la trabajabilidad del hormigón se torna un tanto compleja debido a que su uso produce un aumento en la demanda de agua, por lo que se recomienda utilizar un reductor de agua de alto rango [22].

1.1.3.3.3 Ceniza volante

La ceniza volante es un subproducto industrial, aquellos residuos sólidos que se obtienen de la producción del carbón en plantas de energía eléctrica. Debido a su forma circular mejora la trabajabilidad del hormigón. De acuerdo a su origen se clasifican en Tipo C (carbón sub-bituminoso o lignito) y de tipo F (carbón antracítico y bituminoso) cuyo color en el hormigón varía de acuerdo al tipo de ceniza siendo de color beige al usar Tipo C y de color gris oscuro al usar el Tipo F [22].

1.1.3.3.4 Silicato de sodio

Los silicatos conforman el grupo más grande y de mayor importancia geológica de los minerales con un 95% de toda la corteza terrestre y además conforman la mayoría de rocas, arenas y arcillas. Estos están conformados de silicio y oxígeno pero también pueden estar conformados por hierro, calcio, aluminio, magnesio y sodio [23]. El silicato de sodio también conocido como cristal líquido o metasilicato de sodio, es generado por la fusión de arenas de sílice y carbonato de sodio en diferentes proporciones, el cual está conformado por óxido de sodio y dióxido de silicio el cual puede presentarse de forma sólida (polvo) o líquida [7].

Principalmente es utilizado en la industria de jabones, detergentes, cerámicas o pinturas, para unir elementos como madera, hojas de metal, tableros y pavimentos. Debido a sus propiedades lo hacen un material muy versátil y útil para múltiples aplicaciones como las antes mencionadas incluyendo su uso en el hormigón. Cuando estos silicatos de sodio se mezclan con el cemento pueden llegar a formar mezclas con grandes propiedades ligantes. Hay que tener en cuenta también que los silicatos son materiales importantes en las propiedades refractarias y resistentes del cemento y por lo tanto del hormigón. Entre sus aportes están que dan una mayor resistencia a la temperatura, a los ácidos, buena facilidad de manejo, es de bajo coste y no es tóxico por lo que da mayor seguridad en su utilización [6].

1.1.3.4 Aditivos químicos

Los aditivos son aquellos productos que se incorporan en el hormigón los cuales pueden ser líquidos o polvos en pequeñas porciones que se añaden a mezclas, morteros u hormigones al momento de su fabricación para modificar una o varias de sus propiedades en estado fresco o endurecido de manera controlada, cuyas proporciones dependerán de la cantidad de cemento de diseño.

Hay que tener en cuenta que los aditivos suelen ser componentes eventuales del hormigón, pero sin embargo existen algunas condiciones que los hacen prescindibles en algunos tipos de obras.

Por lo cual su uso se ve condicionado por:

- 1.- Obtención del resultado deseado sin mucha variación en la dosificación base.
- 2.- Que en el resultado final no se vea comprometida otras propiedades del hormigón.
- 3.- Que su coste económico sea justificable para su uso.

Según la Norma ASTM 494 clasifica en siete diferentes tipos de aditivos químicos [24], como se muestra a continuación:

Tabla 5. Clasificación de aditivos químicos según la norma ASTM C494

Tipo	Aplicación
Tipo A	Se utiliza como reductor de agua
Tipo B	Se utiliza como retardador de fraguado
Tipo C	Se utiliza como acelerante de fraguado
Tipo D	Se utiliza como reductor de agua y retardador de fraguado
Tipo E	Se utiliza como reductor de agua y acelerante
Tipo F	Se utiliza reductor de agua de alto rango
Tipo G	Se utiliza como reductor de agua de alto rango y retardador

Fuente: Norma ASTM 494 [24]

1.1.3.5 Uso de Nano materiales

La nanotecnología hace referencia a la manipulación de materiales a escala nanométrica, en donde los efectos superficiales son predominantes y generan cambios importantes en las propiedades del material resultando en mejores propiedades y nuevas funcionalidades. Nanomaterial hace referencia a una sustancia o un conjunto de ellas a escala nanométrica las cuales están constituidas por átomos, moléculas o partículas.

Actualmente el uso de nanomateriales está siendo introducido en diversas industrias como la de los alimentos, la construcción, metalmecánica, en el campo de la salud, energía y muchos más. Mientras que en el sector de la construcción se encuentra en vías de desarrollo partiendo inicialmente desde ideas teóricas hasta algunos productos ya accesibles que se encuentran en el mercado.

Los científicos han determinado que el uso de nano partículas pueden mejorar las propiedades reactivas de los materiales como la resistencia mecánica, resistencia a la conductividad, durabilidad, rendimiento térmico y eléctrico. Que adicionado a la

mezcla de cemento genera importantes aportes para la hidratación y la microestructura de las mismas. Las cuales son el aumento de la velocidad de hidratación, aumento de la cantidad de gel CSH que densifica el material, disminución de la porosidad y aumento de las propiedades mecánicas [25].

1.1.3.5.1 Nano-hierro

El nano hierro al ser un nanomaterial consta de partículas de tamaño nanométrico el cual está compuesto principalmente por óxido de hierro (Fe_2O_3). Hay que tener en cuenta que este material no posee propiedades puzolánicas, sin embargo su uso en las mezclas de hormigón tiende a mejorar sus propiedades, debido a que tiene la capacidad de llenar aquellos vacíos que dejan los cristales hidratados en la mezcla de cemento y también funciona como núcleo activador de la formación de cristales hidratados [26].

1.1.3.5.2 Nano-alúmina

La nano alúmina al igual que el nano hierro está conformada por partículas de tamaño nanométrico el cual está compuesto principalmente por óxido de aluminio (Al_2O_3), el cual al tener características puzolánicas reacciona con la portlandita mejorando las propiedades del hormigón tales como la resistencia a la compresión, tracción y flexión. Además debido a su pequeño tamaño es capaz de llenar los vacíos que quedan en la mezcla inmovilizando el agua libre [26].

1.1.3.5.3 Nano-sílice

La nanosílice al igual que los materiales anteriores está conformada por partículas nanométricas pero compuesto principalmente por óxido de silicio (SiO_2). Que de la misma forma que de la alúmina por su tamaño nanométrico y sus propiedades puzolánicas que reaccionan con la portlandita, se agrupa en los vacíos de la mezcla para mejorar las propiedades del hormigón, como la resistencia a la carbonatación,

resistencia a ataque de iones cloruros, resistencia a la abrasión y erosión. De todos los nanomateriales mencionados el nanosílice es el de mayor uso en el hormigón debido a su actividad puzolánica y efecto filler. Además que debido al creciente desarrollo de las construcciones es necesario estructuras que sean más durables, resistentes y sobre todo amigables con el medio ambiente por lo cual su aplicación en el hormigón satisface casi completamente estos aspectos [26].

1.1.3.6 Propiedades generales del hormigón

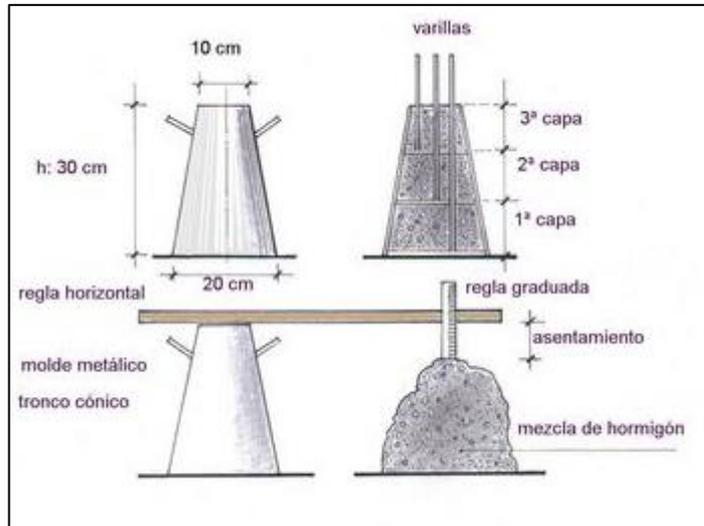
1.1.3.6.1 En estado fresco

1.1.3.6.1.1 Consistencia

La consistencia del hormigón en estado fresco es la posibilidad que esta tiene para deformarse en mayor o menor proporción y ocupar todos los vacíos del molde o del encofrado en donde se lo vierta. Hay que tener en cuenta que la consistencia del hormigón va a depender: del agua de amasado, la granulometría, forma y tamaño de los agregados. El método más utilizado para determinar la consistencia del hormigón es el ensayo de Cono de Abrams.

El cual está dado en la Norma NTE INEN 1578 y establece el procedimiento para determinar el asentamiento del hormigón hidráulico solamente en estado plástico. El ensayo consiste en colocar una muestra de hormigón recién mezclada en un molde tronco cónico de altura 30 cm y de entre 10 a 20 cm de diámetro. En tres capas aproximadamente de 1/3 del volumen total del molde, dándole a cada capa 25 golpes con la varilla de compactación. A continuación se levanta el molde dejando que la mezcla se asiente. La pérdida de altura que se produce es la consistencia o asentamiento que experimenta dicha mezcla de hormigón [27].

Imagen 1. Ensayo Cono de Abrams



Fuente: Construmática [27]

Tabla 6. Clasificación de los hormigones frescos por su consistencia

Consistencia	Asentamiento (cm)	Compactación
Seca	0-2	Vibrado
Plástica	3-5	Vibrado
Blanda	6-9	Varillado
Fluida	10-15	Varillado
Líquida	16-20	Varillado

Fuente: Construmática [27]

1.1.3.6.1.2 Trabajabilidad

Es la facilidad que tiene una mezcla de hormigón para mezclarse, transportarse y distribuirse en su posición final sin segregarse en los moldes o encofrados. La cual tiene estrecha relación con la consistencia y la homogeneidad, por lo que se deberá cuidar la cantidad de agua, cantidad de cemento, forma de los agregados, existencia de aditivos y presencia de cenizas [27].

1.1.3.6.1.3 Homogeneidad

La homogeneidad hace referencia al material o mezcla de hormigón cuyas propiedades en cualquier punto se mantienen o son iguales. Para tener una buena homogeneidad se recomienda tener un buen amasado [27].

1.1.3.6.1.4 Peso específico

El peso específico o densidad mide la cantidad de masa de mezcla de hormigón fresco respecto al volumen que este ocupa. Generalmente se lo mide en kg/m^3 . Cuya variación del método de compactación puede indicar una alteración de granulometría de los agregados, variación del contenido de cemento requerido o agua de mezclado [27].

1.1.3.6.2 En estado endurecido

1.1.3.6.2.1 Densidad

La densidad se lo define como la cantidad de peso por unidad de volumen, la cual va a depender de la clase de agregados y de la manera que se lo coloque en obra. Que generalmente para hormigones normales apisonados están entre 2000 y 2200 kg/m^3 y para hormigones vibrados entre 2300 a 2400 kg/m^3 [27].

1.1.3.6.2.2 Permeabilidad

La permeabilidad se define como aquella capacidad que posee el hormigón para ser penetrado por líquidos o gases. Por lo cual su impermeabilidad es de suma importancia para resistir los ataques químicos, la cual depende de su dosificación, elaboración, curado y manejo [27].

1.1.3.6.2.3 Compacidad

La compacidad del hormigón endurecido está ligada al método de consolidación que se utilice, el cual tiene como fin introducir la mayor cantidad posible de agregados en un volumen determinado eliminando los vacíos que estos dejan con la pasta de cemento. Hay que tener en cuenta que una buena compacidad brinda mayor resistencia mecánica, física y química ya que al contener una mínima cantidad de poros disminuye el ingreso de agentes externos [27].

1.1.3.6.2.4 Porosidad

La porosidad se define como la proporción de vacíos con respecto a la masa total. La cual influye en la resistencia, la densidad y permeabilidad del hormigón [27].

1.1.3.6.2.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la principal característica mecánica del concreto endurecido para medir su calidad, que debido a su facilidad de obtención y economía se ha hecho de uso común y se lo realiza en la mayoría de obras. Se lo define como la capacidad para soportar una carga axial de compresión por unidad de área, medida generalmente a los 28 días de curado para hormigones normales y se lo expresa en términos de esfuerzo principalmente en Kg/cm^2 , MPa o Psi [27]. Para determinar la resistencia a la compresión se utiliza el ensayo estandarizado sobre probetas cilíndricas con moldes que tienen un tamaño normalizado de 4x8 pulgadas (10x20 cm) y 6x12 pulgadas (15x30 cm). Las probetas más pequeñas suelen ser más fáciles de elaborar y manipular pero hay que tener en cuenta que el diámetro del cilindro debe ser como mínimo 3 veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso que se vaya a emplear. Las normas que rigen para este ensayo en el Ecuador son la NTE INEN 1576 y NTE INEN 1573 tanto para los procedimientos de elaboración y curado de los cilindros como para el ensayo de la resistencia a la compresión respectivamente [28].

Por lo cual hay que tener en cuenta los siguientes aspectos durante el proceso de elaboración, curado y ensayo de las probetas de hormigón según las normas mencionadas anteriormente:

- Garantizar que los moldes cilíndricos cumplan con las medidas correctas establecidas en la norma con el fin de obtener buenas probetas.

- Untar un material en el interior de los moldes cilíndricos que eviten que el hormigón se pegue a la superficie del molde, generalmente se utiliza gasolina quemada o aceite mineral.

- Medir y tomar registro del asentamiento (Cono de Abrams) de cada amasada de hormigón para la elaboración de los cilindros.

- En el momento de vaciado de la muestra de hormigón en el molde, se debe hacer en tres capas iguales para cilindros de 15 x 30 cm y de dos capas iguales para cilindros de 10 x 20 cm y se debe apisonar cada capa con 25 golpes internos con la varilla de compactación sobre toda la mezcla y de entre 10 a 15 golpes por fuera con el martillo de goma por cada capa.

- Una vez elaborados los cilindros estos deben permanecer en reposo por aproximadamente 20 horas +/- 4 horas, en un lugar cubierto y protegido de golpes o vibraciones.

- Al hacer el desencofrado de los especímenes, estos se deben curar a una temperatura de 23°C +/- 2 °C en un período máximo de 30 minutos después de haber sido retirado la muestra.

- La carga que se debe aplicar al momento del ensayo debe ser a una velocidad entre 0.14 Mpa/s y 0.34 Mpa/s la cual debe mantenerse al menos durante la última mitad de la fase de carga [28].

1.1.3.6.2.6 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del hormigón también conocido como módulo de rotura, es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. La cual se la puede medir de

dos maneras, la primera utilizando vigas normalizadas en la que se mide la resistencia a la tracción por flexión, y la segunda mediante cilindros normalizados con el procedimiento brasilero en la que se mide la resistencia a la tensión diametral. Hay tener en cuenta que el módulo de rotura está aproximadamente entre el 10% y 20% de la resistencia a la compresión, el cual depende del tipo, granulometría y volumen del agregado grueso ocupado [27].

1.1.3.6.2.7 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del hormigón se define como la representación de la rigidez del hormigón ante una carga puesta sobre él, o en otras palabras la resistencia a la deformación. El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo y la deformación específica, que generalmente se lo determina a partir de ensayos a la compresión de cilindros. Es muy importante conocer esta propiedad en el diseño de concreto reforzado debido a que este influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura [27].

1.1.4 Hipótesis

La adición de silicato de sodio y nanosílice como sustitutivos parciales del cemento contribuirá en la resistencia a la compresión del hormigón tradicional.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Realizar el análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un hormigón hidráulico (Tipo GU) de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con diferentes dosificaciones de silicato de sodio y nanosílice utilizando agregados de la mina Santa Isabel ubicado en la vía Shell - Madre Tierra, Ciudad de Puyo – Provincia de Pastaza.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las características físicas y mecánicas de los agregados pétreos provenientes de la mina Santa Isabel.

- ✓ Comparar la resistencia a la compresión de un hormigón hidráulico (Tipo GU) de $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ con hormigón de diferentes dosificaciones con adiciones de silicato de sodio y nanosílice expresadas como porcentaje de la resistencia.

- ✓ Realizar un análisis costo-beneficio para el porcentaje óptimo de hormigón con silicato de sodio y hormigón con nanosílice como sustitutos parciales del cemento.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

La metodología de investigación de este proyecto experimental se lo realizará de manera bibliográfica, de laboratorio, descriptivo, experimental y exploratorio, mediante el procedimiento que se explica más adelante con el fin de que se cumplan netamente los objetivos propuestos.

Bibliográfica: Es aquella que se caracteriza por el uso netamente de información obtenida de libros, tesis, revistas, normas, artículos científicos, sitios web, informes y todo documento en general [29]. La cual se utilizará para la elaboración de los antecedentes, justificación y el marco teórico.

Laboratorio: Es aquella en la cual el proceso de investigación se desarrolla en un lugar equipado con instrumentos y equipos que ayudan al estudio mediante el control de las variables y condiciones que las influyen [29]. La cual se utilizará para poder realizar los ensayos de los agregados pétreos, cemento, silicato de sodio y nanosílice en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

Exploratorio: Es aquella investigación que se enfoca en descubrir. Sirve para estudiar un problema que no está claramente definido y se lleva a cabo para comprenderlo mejor [29]. Por lo cual es exploratorio debido a que se tiene una noción aproximada de los resultados pero no precisamente tendría que ser así, se pretende descubrir la incidencia que tiene el silicato de sodio y el nanosílice como sustitutivo parcial del cemento en la resistencia a la compresión de un hormigón tradicional de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$.

Descriptivo: Es aquella que como su nombre lo menciona se utiliza para describir el comportamiento, la realidad de situaciones o eventos que se están abordando y se pretende analizarlas [29]. Por lo tanto es descriptivo ya que se va a especificar las características que brindan la adición de silicato de sodio y nanosílice desde su origen y desarrollo. Describiéndole cómo es y cómo se produce el comportamiento a compresión en el hormigón.

Experimental: Es cualquier tipo de investigación que se realice con un enfoque científico donde un conjunto de variables se mantienen constantes y el otro conjunto se miden como sujeto del experimento [29]. Por lo cual es experimental ya que trata de la creación de un nuevo tipo de hormigón con adiciones de silicato de sodio y nanosílice en un porcentaje óptimo que sean competentes en el mercado y mantengan o superen la resistencia a la compresión del hormigón tradicional.

Población y Muestra

Como población se tiene a los hormigones de uso general con adiciones minerales o químicas. Y se considera como muestra al hormigón con adición de silicato de sodio y hormigón con adición de nanosílice.

Delimitación de la muestra

Basándose en la Norma ASTM C172 para la toma de muestras de hormigón esta nos recomienda tomar como mínimo 2 muestras para realizar la resistencia a la compresión, que para mejores resultados se optará por realizar 3 cilindros por cada dosificación y 3 cilindros por cada día de curado.

Para los porcentajes de adición con silicato de sodio y nanosílice como sustitutivos parciales del cemento se lo tomó a consideración a partir de investigaciones realizadas por Nestor Amaris y Vladimir Panquera [6] y Lester Espinoza e Iván Escalante [8] en

las cuales se lo utilizó como sustitutivo parcial y activador de las reacciones puzolánicas para mezclas de hormigón dando mejores resultados con porcentajes menores al 12%, por lo cual se planteó sustituirlo al 4%, 8% y 12% con el fin de ver su variación en las mezclas de hormigón. De igual manera basándose en estudios anteriores de Lurdes Morejón [2], Vladimir Chacón [5] y Jorge Tobón [30] con el uso del nanosílice estos concluyeron que los mejores resultados se dieron con valores mayores al 0.5% y menores al 5%, por lo cual se procedió a utilizarlo al 1%, 3% y 5% para ver su efectividad. Indicándose de mejor manera en la siguiente tabla.

Tabla 7. Número de cilindros a realizar

Dosificación	Porcentaje de Adición	Tiempo de Curado			Subtotal
		7 días	14 días	28 días	
Hormigón $f'c = 240$ Kg/cm ²	0%	3	3	3	9
Hormigón $f'c = 240$ Kg/cm ² con adición de silicato de sodio	4%	3	3	3	9
	8%	3	3	3	9
	12%	3	3	3	9
Hormigón $f'c = 240$ Kg/cm ² con adición de nanosílice	1%	3	3	3	9
	3%	3	3	3	9
	5%	3	3	3	9
TOTAL DE CILINDROS A REALIZAR					63

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

2.1.1 Materiales

Para la elaboración de los cilindros de hormigón serán necesarios cemento, agregados fino y grueso, agua para su mezclado y cualquier otra adición química o mineral que sustituya parcialmente el porcentaje de cemento en la mezcla.

2.1.1.1 Cemento Hidráulico

El cemento a utilizar es un cemento hidráulico Tipo GU diseñado para todo tipo de construcción en general. El cual cumple los parámetros que exige la norma NTE INEN 2380 en cuanto a su resistencia, durabilidad y desempeño. Entre sus ventajas principales están que: ofrece buena resistencia mecánica en todo tipo de construcciones, tiene una mejor trabajabilidad de mezcla, menos segregación y exudación, menos calor de hidratación, brinda buenos tiempos de fraguado y además presenta gran ahorro en el consumo del cemento por m³ de hormigón [11].

Imagen 2. Cemento Hidráulico Tipo GU



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.1.2 Agregado Grueso

El agregado grueso el cual estará conformado por grava o roca triturada, cuyas partículas por lo general son mayores a los 5 mm, será obtenido de la mina Santa Isabel ubicada en la vía Shell – Madre Tierra, ciudad de Puyo. El cual será analizado en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil, con el fin de validar su calidad. Teniendo en cuenta que el tamaño mínimo de agregado grueso será de 4.75 mm el cual debe ser duro, resistente y limpio para un mejor desempeño. Se recomienda que cuando se elabore mezclas con resistencias hasta de 250 kg/cm^2 se utilice el mayor tamaño posible de agregado grueso, mientras que para resistencias mayores a estas utilizar agregados de menor tamaño [19].

Imagen 3. Agregado Grueso (Ripio)



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.1.3 Agregado Fino

El agregado fino el cual estará conformado por arena natural o piedra triturada, cuya mayoría de sus partículas son menores que los 5 mm, será obtenida de la mina Santa Isabel ubicada en la vía Shell – Madre Tierra, ciudad de Puyo. La cual de igual manera será analizada en el laboratorio de ensayo de materiales de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil, con el fin de validar su calidad. Este se utiliza como llenante de los vacíos que dejan los agregados gruesos dándole manejabilidad a

la mezcla. Hay que tener en cuenta que el agregado fino debe ser bien gradado para que pueda llenar todos los vacíos y producir mezclas más compactas [19].

Imagen 4. Agregado Fino (Arena)



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.1.4 Agua

El agua es considerada como la materia prima para la elaboración y curado del hormigón, la cual debe ser limpia, fresca y debe estar libre de residuos o impurezas. El agua que se va a utilizar es agua de consumo humano o agua potable obtenida de las llaves de agua de los laboratorios para ensayos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato [20].

Imagen 5. Agua de mezclado



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.1.5 Silicato de Sodio

El silicato de sodio a utilizar en esta investigación será de manera líquida debido a que tiene muchas aplicaciones entre las cuales están: la fabricación de detergentes en polvo, adhesivos, pinturas y para recubrimientos. Además es estable en todo tipo de soluciones neutras y alcalinas y en varias formulaciones incluyendo el hormigón y procesos que busquen una alternativa ecológica. Como por ejemplo al disolverse en agua, produce una solución alcalina [31].

Imagen 6. Silicato de Sodio Líquido



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.1.6 Nanosílice

La otra adición que se va a utilizar para esta investigación es el nanosílice el cual es un nano aditivo que se encuentra en estado líquido conformado por partículas nanométricas de sílice. Es catalogado como un reductor de agua de alto poder, debido a su gran poder de plastificación y de favorecer la evolución de resistencias, por lo cual lo hace ideal para ser utilizado en las mezclas de hormigón [32].

Imagen 7. Nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.2 Equipos

2.1.2.1 Horno eléctrico

Horno eléctrico marca CONTROLS MD – 9053A, el cual es adecuado para empresas de la industria minera, laboratorios e institutos de investigación donde se requiera desecar y esterilizar diversos materiales. Es utilizado principalmente para secar y esterilizar instrumentos, diversos tipos de suelos, agregados gruesos y finos para los ensayos de contenido de humedad y capacidad de absorción a una temperatura de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ con una capacidad de 300 lt.

Imagen 8. Horno eléctrico



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.2.2 Máquina de los ángeles

Máquina de los ángeles marca 48 – D0500/G con la cual se realiza el ensayo para probar la resistencia a la abrasión del agregado grueso. La máquina consta de un tambor de acero laminado con un diámetro interior de 711 mm y una longitud interna de 508 mm. El tambor gira mediante un reductor de velocidad que se acciona por un motor eléctrico, y consta de un contador automático para ajustar al número de vueltas que se requiera.

Imagen 9. Máquina de los Ángeles



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.2.3 Máquina para la prueba de compresión del hormigón

La máquina de prueba de compresión del hormigón SHIMADZU (CONCRETO 2000X) se utiliza para realizar pruebas de manera segura y eficiente en el concreto sin causar fracturas explosivas. Principalmente es utilizada para realizar ensayos a compresión y determinar el módulo elástico en probetas de hormigón de 4x8 pulg (10x20cm). Cuyos resultados son exportados a manera de Excel y pdf con su respectivo gráfico esfuerzo - deformación.

Imagen 10. Máquina para ensayo a compresión del hormigón



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.1.2.4 Herramienta menor

Todo tipo de herramientas menores tales como flexómetro, palas, probetas, palustres, tamices, recipientes, entre otros que se utilizaron para llevar a cabo cada uno de los diferentes ensayos que se detallan más adelante.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Plan de Recolección de Datos

El procedimiento a realizarse en este trabajo experimental es el que se explica a continuación:

2.2.1.1 Obtención de los agregados pétreos

Los agregados pétreos tanto finos (arena) como grueso (grava) utilizados en este trabajo experimental fueron extraídos de la mina Santa Isabel ubicada en la vía Shell – Madre Tierra, ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza.

Imagen 11. Mina Santa Isabel



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

El método de extracción para los agregados que se realizó se lo denomina a cielo abierto con el cual se retira todo el material de sobrecarga que no es de utilidad, para así dejar material bueno que pueda ser extraído por la excavadora oruga mediante el método de excavación por terrazas con el fin de no generar tanto daño al río Pastaza del cual se lo obtienen. La extracción en caso de rocas suaves se lo realiza de manera directa mediante las excavadoras que ayudan a disgregar las rocas que posteriormente se los carga en las volquetas.

Una vez que ya se ha obtenido el material tanto fino como grueso (arena y ripio) y colocado en las volquetas, éstas son transportadas a un lugar de la mina donde se las apilan hasta obtener una buena cantidad de material (stock).

Imagen 12. Zarandeo de los agregados pétreos



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Luego de esto se procede a transportarlos a la zona donde se encuentra la zaranda, para la clasificación de los mismos en material muy grueso, grueso y fino. Donde el material muy grueso es utilizado para hacer los propios muros en las playas de la mina, el material grueso es llevado a la trituradora para obtener los diferentes materiales que esta vende, mientras que las piedras grandes que no pasan la trituradora son ocupadas para las sub bases. Una vez triturado el agregado grueso de diferentes tamaños se almacena para su comercialización.

En este caso se optó por recoger material de tamaño nominal de 1 pulgada para la elaboración de los cilindros mediante la norma NTE INEN 695 en la cual estipula obtener como mínimo 3 muestras seleccionadas al azar y aproximadamente iguales y combinarlas para formar una muestra in situ, para lo cual se tomaron las muestras de la parte baja, parte media y alta del stock de árido grueso y fino almacenado, para posteriormente guardarlos en un saco para su respectiva transportación.

Imagen 13. Diferentes tipos de agregados que comercializa la mina



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

2.2.1.2 Mina Santa Isabel

La mina Santa Isabel inicia su explotación a partir del año 1992, la cual extrae el material del Río Pastaza, y cuenta con una máquina trituradora de piedra la cual la hace muy competente en el mercado, vendiendo así distintas clases de material pétreo las cuales son: Triturado 1 ½ pulg, 1 pulg, ¾ pulg, polvo de piedra de 3/8, ripio tamizado, arena negra, sub base clase 3, sub base clase 8, piedra bola 5 pulg y piedra bola de 3 pulg. Ubicada más exactamente en la vía Shell – Madre Tierra cuyas coordenadas son las siguientes:

Tabla 8. Coordenadas UTM de la ubicación de la Mina Santa Isabel

COORDENADAS UTM, WGS 84 - ZONA 17 M			
Punto	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)
P1	827649,13	9830690,00	989

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Imagen 14. Ubicación de la Mina Santa Isabel



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza, Software Google Earth

Para la realización del presente trabajo experimental inicialmente se determinará las características físicas y mecánicas de los agregados pétreos (grueso y fino) provenientes de la mina Santa Isabel, la del cemento hidráulico Tipo GU, silicato de sodio y nanosílice que se van a utilizar como sustitutivos parciales del cemento, según las normas INEN y ASTM.

Los ensayos a realizar se detallan a continuación:

- Ensayo de abrasión del agregado grueso (ASTM C-131 – NTE INEN 860)
- Granulometría de los agregados (ASTM C-136 – NTE INEN 696)
- Peso volumétrico suelto y compactado de los agregados (ASTM C-29 – NTE INEN 858)

- Densidad aparente máxima de la mezcla de agregados (ASTM C-29 – NTE INEN 858)
- Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso (ASTM C-127 – NTE INEN 857)
- Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino (ASTM C-128 – NTE INEN 856)
- Determinación del contenido de humedad de los agregados (ASTM C-566 – NTE INEN 862)
- Densidad real del cemento (ASTM C-188 – NTE INEN 156)
- Ensayo de Resistencia a la Compresión (ASTM C-39 – NTE INEN 1573)

2.2.1.3 Ensayo de abrasión del agregado grueso

Para realizar el diseño de mezclas de hormigón es importante conocer las propiedades de los agregados, donde uno de los más importantes es el ensayo de abrasión del agregado grueso ya que de esto depende si es apto o no para realizar el diseño de la mezcla.

Para realizar el ensayo de abrasión del agregado grueso se lo hará basándose en la norma ASTM C-131 y la NTE INEN 860 o NTE INEN 861 según corresponda al tamaño de agregado a utilizar. En estas normas se especifica el método a seguir para determinar el valor de desgaste del árido grueso mediante la pérdida de masa, producto del desgaste e impacto que generan las esferas de acero al agregado tras 500 vueltas en la máquina de los ángeles. Cuya carga de las esferas de acero y el método a utilizar va a depender de la gradación de la muestra [33].

Tabla 9. Especificaciones de carga para el número de esferas

Gradación	Número esferas	Masa de carga (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Norma NTE INEN 860 [33]

Tabla 10. Gradación de las muestras

Tamaño de tamiz (mm)		Masa por tamaños (g)			
Pasa	Retenido	Gradación			
		A	B	C	D
37.5	25.0	1250 ± 25	-----	-----	-----
25.0	19.0	1250 ± 25	-----	-----	-----
19.0	12.5	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
12.5	9.5	1250 ± 10	2500 ± 10	-----	-----
9.5	6.3	-----	-----	2500 ± 10	-----
6.3	4.75	-----	-----	2500 ± 10	-----
4,75	2.36	-----	-----	-----	5000 ± 10
	TOTAL	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Norma NTE INEN 860 [33]

2.2.1.4 Granulometría de los agregados

Para determinar la granulometría de los agregados se los hará basándose en la norma ASTM C136 y la NTE INEN 696 en las cuáles se especifica el método para establecer la distribución granulométrica del tamaño de las partículas de los agregados pétreos tanto grueso como fino mediante el tamizado con diferentes mallas de alambre con aberturas cuadradas cuyos tamaños están definidas en la ASTM E11.

También sirve para determinar el tamaño máximo, tamaño nominal máximo, módulo de finura y si los agregados están bien gradados o saber si se encuentran dentro del límite establecido en la norma ASTM C33 y NTE INEN 872 para lo cual se debe realizar la curva granulométrica. En el caso de no estar en el rango establecido se deberán realizar correcciones [19].

Tabla 11. Tamaño de los tamices para el agregado grueso según la norma ASTM E11 y NTE INEN 872

TAMAÑO DE LOS TAMICES	
ASTM E11	NTE INEN 872
Agregado Grueso (Grava)	
2 pulgadas	50 mm
1 ½ pulgadas	37.5 mm
1 pulgada	25 mm
¾ pulgadas	19 mm
½ pulgadas	12.5 mm
3/8 pulgadas	9.5 mm
# 4	4.75 mm

Fuente: Norma ASTM E11 [34] y NTE INEN 872 [35]

Tabla 12. Tamaño de los tamices para el agregado fino según la norma ASTM E11 y NTE INEN 872

TAMAÑO DE LOS TAMICES	
ASTM E11	NTE INEN 872
Agregado Fino (Arena)	
3/8 pulgadas	9.5 mm
# 4	4.75 mm
# 8	2.36 mm
# 16	1.18 mm
# 30	0.6 mm
# 50	0.3 mm
# 100	0.15 mm

Fuente: Norma ASTM E11 [34] y NTE INEN 872 [35]

Para la curva granulométrica se representa en el eje de las ordenadas el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz, mientras que para el eje de las abscisas las aberturas del tamiz pero en escala logarítmica.

Esto se realiza en los agregados tanto gruesos como finos.

Tabla 13. Límites granulométricos para el agregado grueso según la norma ASTM C33 y NTE INEN 872

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS
ASTM C33 y NTE INEN 872
Agregado Grueso (Grava)

Tamaño Tamiz	Porcentaje Que Pasa	
	Inferior	Superior
2 pulgadas (50 mm)	100	100
1 ½ pulgadas (37.5 mm)	95	100
1 pulgada (25 mm)	-	-
¾ pulgadas (19 mm)	35	70
½ pulgadas (12.5 mm)	-	-
3/8 pulgadas (9.5 mm)	10	30
# 4 (4.75 mm)	0	5

Fuente: Norma ASTM C33 [36] y NTE INEN 872 [35]

Tabla 14. Límites granulométricos para el agregado fino según la norma ASTM C33 y NTE INEN 872

LÍMITES GRANULOMÉTRICOS		
ASTM C33 y NTE INEN 872		
Agregado Fino (Arena)		
Tamaño Tamiz	Porcentaje Que Pasa	
	Inferior	Superior
3/8 pulgadas (9.5 mm)	100	100
# 4 (4.75 mm)	95	100
# 8 (2.36 mm)	80	100
# 16 (1.18 mm)	50	85
# 30 (0.60 mm)	25	60
# 50 (0.30 mm)	5	30
# 100 (0.15 mm)	0	10

Fuente: Norma ASTM C33 [36] y NTE INEN 872 [35]

2.2.1.4.1 Tamaño máximo

Para obtener el tamaño máximo del agregado grueso es necesario realizar previamente el ensayo de granulometría y determinar el menor de los tamices por donde pasa toda la muestra [19].

2.2.1.4.2 Tamaño Nominal máximo (agregado grueso)

Para obtener el tamaño nominal máximo es necesario realizar previamente el ensayo de granulometría y determinar cuál es el menor tamaño de malla por donde pasa la mayoría del agregado grueso o donde se quede retenido entre el 5% y el 15% del agregado. Hay que tener en cuenta que para hormigones con Tamaños Nominales Máximos (TNM) menores se requieren mayor agua y cemento en comparación con TNM mayores, debido al aumento del área superficial del agregado [19].

2.2.1.4.3 Módulo de finura (agregado fino)

Para obtener el módulo de finura es necesario realizar previamente el ensayo de granulometría y proceder a sumar los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en los tamices y dividir esta suma entre 100. Los tamices utilizados para su determinación son: 0.15 mm (# 100), 0.30 mm (# 50), 0.60 mm (# 30), 1.18 mm (#16), 2.36 mm (# 8), 4.75 mm (# 4), 9.52 mm (3/8 pulg), 19.05 mm (3/4 pulg), 38.10 mm (1 ½ pulg) y 76.20 mm (3 pulg). Hay que tener en cuenta que mientras mayor sea el módulo de finura más grueso será el agregado, por lo que se recomienda que esté entre 2.3 y 3.1 [19].

2.2.1.5 Peso volumétrico compactado y suelto de los agregados

Para realizar este tipo de ensayo se utilizará la norma ASTM C29 y NTE INEN 858 para determinar el peso volumétrico de los agregados, tanto para finos como para

gruesos, en condición compactada o suelta. Denotándose en la norma tres métodos para compactar el agregado en el recipiente y así determinar su peso volumétrico, los cuales son por varrillado, por sacudidas y por paladas, el cual va a depender del tamaño máximo del mismo. Este ensaye puede ser aplicado por separado o en mezcla con cada uno de los agregados [37]. Hay que tener en cuenta que el contenido de vacíos afecta directamente el diseño de la mezcla ya que a mayor contenido de vacíos más pasta de cemento se requerirá y por lo tanto más coste económico, por lo que se recomienda agregado bien graduado y granulometría mejorada para disminuir esto [19].

2.2.1.6 Densidad relativa y capacidad de absorción de los agregados

Para este tipo de ensayos se los realizará utilizando las normas NTE INEN 856 (ASTM C127) y NTE INEN 857 (ASTM C128) para el agregado fino y agregado grueso respectivamente. Con el fin de determinar de manera correcta la densidad promedio de una muestra, densidad relativa y la capacidad de absorción de los agregados. La cual va a depender del método que se utilice para que la densidad sea expresada como seca al horno (SH) o saturada superficialmente seca (SSS). Tanto la densidad promedio como la densidad relativa por el método SH se determinan luego de secar al horno el agregado y para la densidad promedio y densidad relativa SSS se determinan luego de saturar el agregado en agua por un periodo de tiempo de 24 horas [38].

2.2.1.7 Contenido de humedad de los agregados

El contenido de humedad de los agregados se lo realizará utilizando la norma ASTM C566 y NTE INEN 862 el cual consiste en determinar el porcentaje de humedad evaporado al secar al horno una muestra de masa de agregado fino o agregado grueso en estado natural. Cuyo contenido de humedad es la cantidad de agua evaporada en porcentaje con respecto a la masa seca del mismo [39].

2.2.1.8 Densidad real del cemento

Para este ensayo se lo realizará utilizando las normas NTE INEN 156 y ASTM 188 en la cual se especifica los métodos para determinar la densidad real del cemento hidráulico mediante el frasco volumétrico de Le Chatelier (Método Volumétrico) o mediante el uso del picnómetro (Método Gravimétrico). Para esta investigación se utilizará el método gravimétrico con el fin de determinar la relación que existe entre la masa de cemento y el volumen del líquido (querosén, nafta o gasolina) no reactivo que desplaza esta masa en el frasco y así obtener su densidad real [40].

2.2.2 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

2.2.2.1 Dosificación

Finalizado con los ensayos mencionados anteriormente se procede a realizar la dosificación inicial del hormigón a la resistencia requerida. Existen varios métodos para realizar la dosificación del hormigón, de los cuáles los más utilizados son el Método de ACI y el de Densidad Óptima. Con los cuáles se pueden calcular las cantidades necesarias de cemento, agua y agregados pétreos para la elaboración del hormigón que se desee [41].

2.2.2.1.1 Método de densidad óptima

El método a utilizar para la dosificación del hormigón fue el de Densidad Óptima el cual se desarrolló inicialmente en los laboratorios de la Universidad Central del Ecuador, y fue mejorado con la información realizada por Ing. Marco Garzón en una investigación sobre el Módulo de Elasticidad del Hormigón. Este método se basa en utilizar la mínima cantidad de pasta que se necesita para obtener un buen hormigón de calidad, por lo que es necesario tener una buena combinación de agregados con el fin de que el porcentaje de vacíos sea el menor posible [41].

Cuyo procedimiento se detalla a continuación:

- ✓ Seleccionar la relación agua/cemento para la resistencia a la compresión a los 28 días de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 15. Resistencia a la compresión del hormigón a los 28 días de acuerdo a la relación agua/cemento (W/C).

F'c a los 28 días (kg/cm²)	Relación agua-cemento (W/C)
450	0.37
420	0.40
400	0.42
350	0.46
320	0.50
300	0.51
280	0.52
250	0.55
240	0.56
210	0.58
180	0.60

Fuente: Investigación del Módulo de Elasticidad del Hormigón. Ing. Marco Garzón (2010) [41].

- ✓ Determinar la densidad real de la mezcla (DRM).

Ecuación 1. Densidad Real de la Mezcla

$$DMR = \frac{DRA * POA + DRR * POR}{100}$$

- ✓ Calcular el porcentaje óptimo de vacíos

Ecuación 2. Porcentaje Óptimo de Vacíos

$$POV = \left(\frac{DRM - DOM}{DRM} \right) * 100$$

- ✓ Determinar la cantidad de pasta de cemento

La cantidad de pasta dependerá del asentamiento requerido la cual se determinará con la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 16. Cantidad de pasta porcentual de acuerdo a su asentamiento

Asentamiento (cm)	Cantidad de Pasta (%)
0 – 3	POV + 2% + 3% (POV)
3 – 6	POV + 2% + 6% (POV)
6 – 9	POV + 2% + 8% (POV)
9 – 12	POV + 2% + 11% (POV)
12 - 15	POV + 2% + 13% (POV)

Fuente: Investigación del Módulo de Elasticidad del Hormigón. Ing. Marco Garzón (2010) [41].

- ✓ Calcular la cantidad necesaria de materiales (cemento, agua, arena y ripio) para 1m³ de hormigón.

- Cálculo de Cantidad de Cemento (C)

Ecuación 3. Cantidad de Cemento

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

- Cálculo de Cantidad de Agua (W)

Ecuación 4. Cantidad de agua

$$W = \frac{W}{C} * C$$

- Cálculo de Cantidad de Arena (A)

Ecuación 5. Cantidad de Arena

$$A = (1000 - CP) * \left(\frac{DRA * POA}{100} \right)$$

- Cálculo de Cantidad de Ripio (R)

Ecuación 6. Cantidad de Ripio

$$R = (1000 - CP) * \left(\frac{DRR * POR}{100} \right)$$

- ✓ Calcular la dosificación al peso

Se recomienda realizar una tabla donde se divida cada una de las cantidades de los materiales para la cantidad de cemento con la siguiente ecuación:

Ecuación 7. Dosificación al peso de los materiales (W, A, R)

$$\text{Dosificación del Material } (W, A, R) = \frac{\text{Cantidad de Material } (W, A, R) * 1m^3}{\text{Cantidad de Cemento } (C)}$$

Nota: La dosificación del cemento (C) siempre será igual a 1.

- ✓ Calcular la cantidad por saco de cemento:

Ecuación 8. Cantidad de los materiales (W, A, R) para un saco de cemento

$$\text{Cantidad } (W, A, R) = \frac{\text{Dosificación } (W, A, R) * 50kg}{1}$$

Con las proporciones obtenidas de los materiales, se procede a calcular la cantidad total de hormigón a utilizar para el número de probetas que se requieran [41].

2.2.2.2 Ensayo de Resistencia a la Compresión

Una vez determinada las proporciones correctas de los materiales (dosificación) se procederá a su elaboración y su respectivo ensaye. Para lo cual se utilizarán las normas NTE INEN 1576 y NTE INEN 1573 tanto para los procedimientos de elaboración y curado de los cilindros como para el ensayo de la resistencia a la compresión respectivamente. Y de acuerdo al tamaño máximo de las partículas del agregado grueso se determinará qué tipo de probetas cilíndricas se pueden utilizar [28].

2.2.2.3 Ecuación de predicción de la resistencia a la compresión

Debido a la principal desventaja del hormigón, la cual es el tiempo de espera para que un elemento entre en funcionamiento y se pueda conocer precisamente su resistencia a la compresión a los 28 días, nace la idea de disponer de un modelo estadístico o una ecuación la cual sea fiable y permita predecir la resistencia del hormigón a edades avanzadas. Existen varios métodos para utilizar los resultados de los ensayos a compresión del hormigón en edad temprana y proyectarlos a edades mayores, dentro de los cuáles el más utilizado es el que está estipulado en la norma ASTM C 918 en la cual se detalla el procedimiento a seguir utilizando los resultados a compresión en edades tempranas y bajo condiciones de curado. Bajo este principio se ha realizado una investigación en Ecuador por el ingeniero investigador de la UTPL Alonso Zuñiga, que mediante un modelo estadístico se planteó una ecuación que permite determinar de manera aproximada la resistencia a los 28 días desde edades tempranas, en la cual se concluyó que con los valores a los 7 días de edad temprana presentaban mínimo error que con respecto a los 3 y 14 días de curado [42]. Cuya ecuación se detalla a continuación.

Ecuación 9. Ecuación de predicción de la resistencia a la compresión

$$\sigma_{28}^P = \sigma_t \left(1 + e^{-\frac{t-t_0}{k}} \right)$$

➤ **Sin aditivo** >> $t_0 = 3.3 ; k = 5.2$

➤ **Con aditivo** >> $t_0 = 1.1 ; k = 5.2$

Donde:

σ_{28}^P = Resistencia a la compresión proyectada a los 28 días.

σ_t = Resistencia a la compresión determinada a cierta edad de curado.

t = Tiempo en días de la resistencia determinada a cierta edad de curado σ_t .

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1.1 Ensayo de los agregados pétreos

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de las probetas de hormigón tanto agregado grueso (ripio) como agregado fino (arena) provienen de la Mina Santa Isabel ubicada en la vía Shell – Madre Tierra, ciudad de Puyo, Provincia de Pastaza. Con los cuales se realizaron los ensayos respectivos en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato basándose en las normas NTE INEN y ASTM como se muestran a continuación:

Tabla 17. Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles

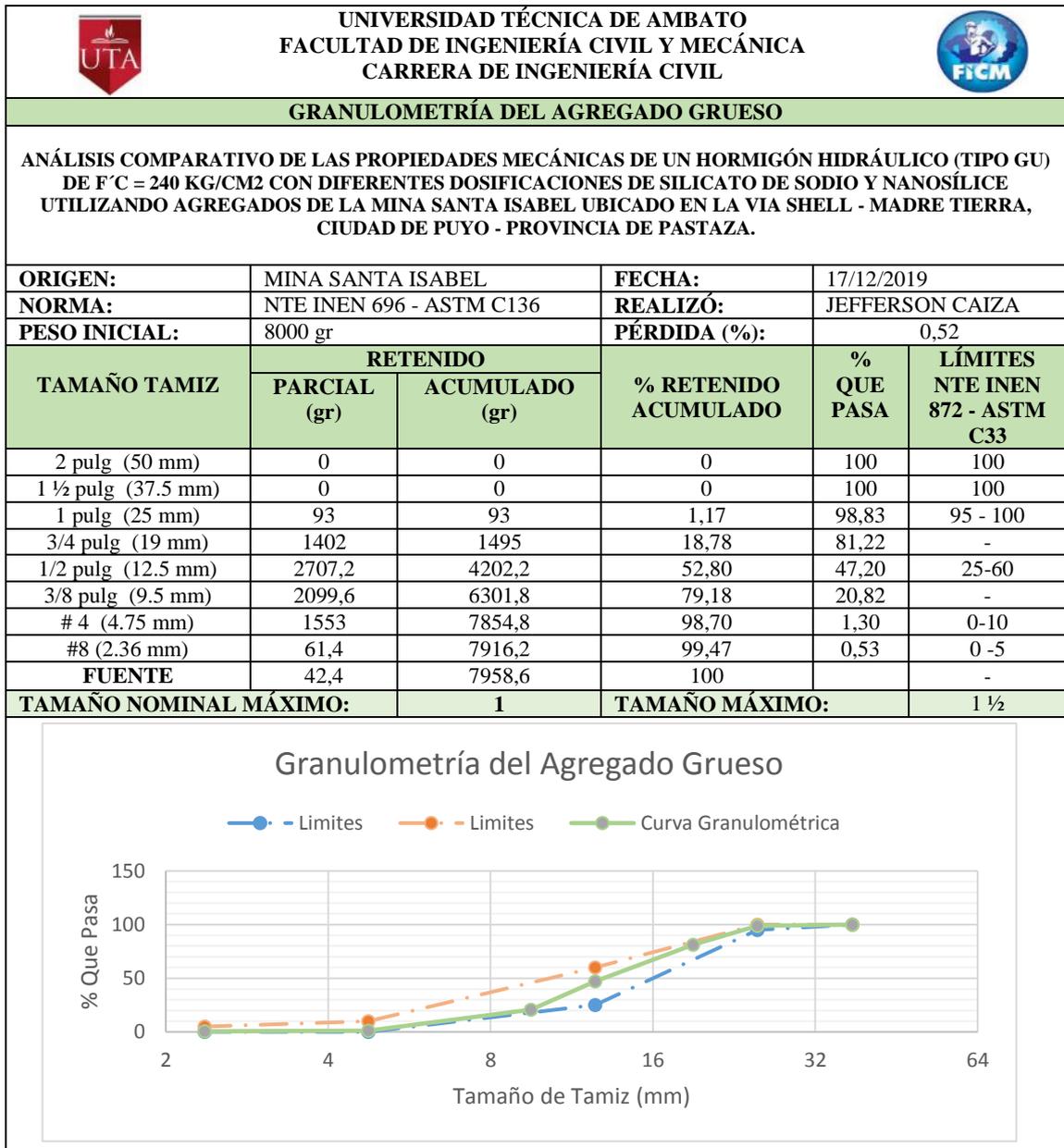
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ENSAYO DE ABRASIÓN EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	13/12/2019
NORMA:	NTE INEN 860 - ASTM C131	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA
PESO DE MUESTRA (g)	5000	GRADACIÓN:	B
ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
GRADACIÓN B			
RETENIDO		MASA	
1/2 pulg (12.5 mm)		2500 ± 10	
3/8 pulg (9.5 mm)		2500 ± 10	
TOTAL		5000 ± 10	
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALORES
P1	Peso Inicial de la muestra	g	5000,00
P2	Retenido en el tamiz #12 después de 500 rev.	g	3712,60
P3 = P1 - P2	Pérdida después de 500 rev.	g	1287,40
P4 = (P3/P1)*100	% Desgaste	%	25,75

Fuente: Egd. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 17, en base a la norma NTE INEN 860 y ASTM C131 se logró determinar mediante el método de gradación B, el porcentaje de desgaste del agregado grueso (ripio) con un valor de 25,75 %, denotándose que este agregado es de buena resistencia al desgaste ya que su valor es menor al 50% que estipula la norma ASTM C131. Por lo cual es un material apto para el diseño de mezcla del hormigón.

Tabla 18. Granulometría del agregado grueso

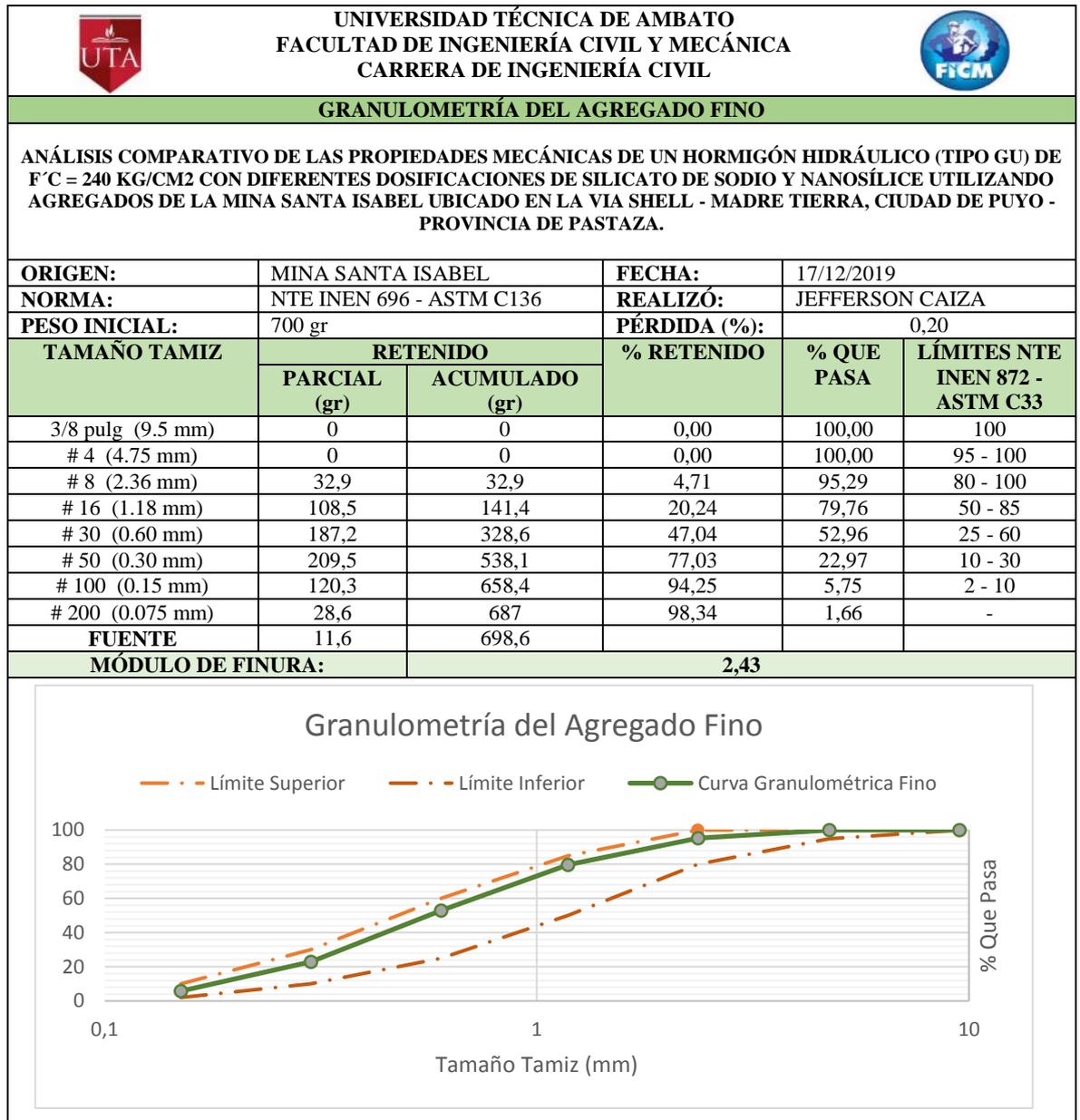


Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 18, mediante la norma NTE INEN 696 y ASTM C136 se determinó la granulometría del agregado grueso con un tamaño nominal máximo de 1 pulg. Denotándose que el agregado grueso es de buena granulometría ya que se encuentra bajo los límites estipulados en la norma ASTM C33 (Curva Granulométrica).

Tabla 19. Granulometría del agregado fino



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 19, mediante la norma NTE INEN 696 y ASTM C136 se determinó la granulometría del agregado fino con un módulo de finura de 2.43 el cual es bueno ya que valores menores a 2.3 indican agregado fino de mala calidad. Denotándose también una buena granulometría ya que se encuentra bajo los límites estipulados en la norma ASTM C33 (Curva Granulométrica).

Tabla 20. Peso Volumétrico suelto y compactado de los agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	18/12/2019	
NORMA:	NTE INEN 858 - ASTM C29	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
MASA DEL RECIPIENTE (KG)	9,9	VOLUMEN DEL RECIPIENTE (DM3)	20,65	
AGREGADO GRUESO				
CONDICIÓN	AGREGADO GRUESO + RECIPIENTE (KG)	AGREGADO GRUESO (KG)	PESO VOLUMÉTRICO (KG/DM3)	PESO VOLUMÉTRICO PROM (KG/DM3)
SUELTA	37,40	27,50	1,33	1,35
	38,10	28,20	1,37	
COMPACTADA	41,80	31,90	1,54	1,54
	41,50	31,60	1,53	
AGREGADO FINO				
CONDICIÓN	AGREGADO FINO + RECIPIENTE (KG)	AGREGADO FINO (KG)	PESO VOLUMÉTRICO (KG/DM3)	PESO VOLUMÉTRICO PROM (KG/DM3)
SUELTA	40,70	30,80	1,49	1,48
	40,40	30,50	1,48	
COMPACTADA	43,10	33,20	1,61	1,60
	42,70	32,80	1,59	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

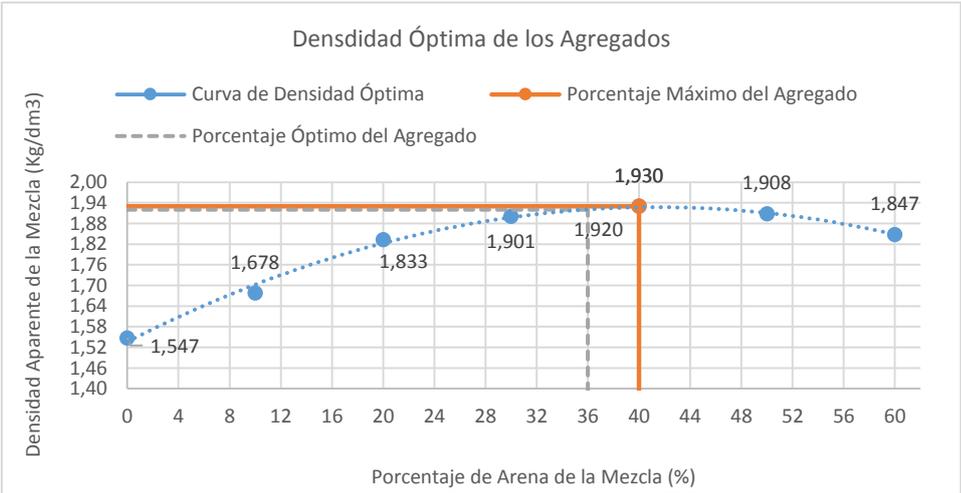
Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 20, mediante la norma NTE INEN 858 y ASTM C29 se determinó el peso volumétrico del agregado grueso en condición suelta y compactada con un valor de 1.35 Kg/dm³ y 1.54 Kg/dm³ respectivamente. Mientras que el peso volumétrico del agregado fino en condición suelta tiene un valor de 1.48 Kg/dm³ y compactada un valor de 1.60 Kg/dm³. Denotándose que el agregado fino es más pesado que el agregado grueso en un mismo recipiente, debido a que quedan muchos más vacíos en el agregado grueso que en el fino, en cualquiera de las dos condiciones suelta o compactada.

Tabla 21. Densidad aparente óptima de la mezcla de agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
DENSIDAD APARENTE MÁXIMA DE LA MEZCLA DE AGREGADOS								
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.								
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL			FECHA:	19/12/2019			
NORMA:	NTE INEN 858 - ASTM C29			REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA			
MASA DEL RECIPIENTE (Kg)	9,9			VOLUMEN DEL RECIPIENTE (dm3)	20,65			
MEZCLA %		AGREGADO (KG)		FINO AÑADIRSE (KG)	MEZCLA + RECIPIENTE (KG)	MASA DE LA MEZCLA (KG)	DENSIDAD APARENTE DE LA MEZCLA (KG/DM3)	DENSIDAD APARENTE PROMEDIO (KG/DM3)
GRUESO	FINO	GRUESO	FINO					
100	0	40	0,00	0,00	41,70	31,80	1,540	1,547
					42,00	32,10	1,554	
90	10	40	4,44	4,44	44,60	34,70	1,680	1,678
					44,50	34,60	1,676	
80	20	40	10,00	5,56	47,70	37,80	1,831	1,833
					47,80	37,90	1,835	
70	30	40	17,14	7,14	49,10	39,20	1,898	1,901
					49,20	39,30	1,903	
60	40	40	26,67	9,52	49,70	39,80	1,927	1,930
					49,80	39,90	1,932	
50	50	40	40,00	13,33	49,30	39,40	1,908	1,908
					49,30	39,40	1,908	
40	60	40	60,00	20,00	48,10	38,20	1,850	1,847
					48,00	38,10	1,845	

Densidad Óptima de los Agregados



Porcentaje Máximo de Agregado Fino (%)	40%
Porcentaje Máximo de Agregado Grueso (%)	60%
Porcentaje Óptimo de Agregado Fino (%)	36%
Porcentaje Óptimo de Agregado Grueso (%)	64%
Densidad Aparente Máxima de la Mezcla de Agregados (Kg/dm3)	1,93
Densidad Aparente Óptima de la Mezcla de Agregados (Kg/dm3)	1,92

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 21, mediante la norma NTE INEN 858 y ASTM C29 se determinó la densidad aparente óptima de la mezcla de los agregados fino con grueso con un valor de 1.92 Kg/dm^3 . El cual se lo obtuvo restando un 4% al máximo porcentaje de arena y añadiendo un 4% al ripio, con los cuales se interseca a la curva para encontrar la densidad óptima de la mezcla. Siendo en este caso el porcentaje máximo de agregado fino con grueso del 40% y 60% respectivamente. Denotándose que los agregados al tener mayor compacidad en mezcla proporciona mayor resistencia mecánica y reduce la cantidad de cemento a utilizar.

Tabla 22. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	07/01/2020
NORMA:	NTE INEN 857 - ASTM C127	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO GRUESO			
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALOR
P1	Peso de la canastilla al aire	gr	1303
P2	Peso de la canastilla sumergida en agua	gr	1134
P3	Peso de la canastilla + Agr. Grueso en S.S.S al aire	gr	4409
P4	Peso de la canastilla + Agr. Grueso en S.S.S en agua	gr	3078
DA	Densidad real del agua	gr/cm ³	1
P5 = P3 - P1	Peso del Agr. Grueso en S.S.S al aire	gr	3106
P6 = P4 - P2	Peso del Agr. Grueso en S.S.S en agua	gr	1944
VD = P5 - P6 / DA	Volumen Desalojado	cm ³	1162
DRG = P5 / VD	Densidad relativa del Agr. Grueso	gr/cm³	2,673
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALORES
P7	Peso del recipiente	gr	33,6 30,2
P8	Peso del recipiente + Agr. Grueso en S.S.S	gr	284,5 285,3
P9 = P8 - P7	Peso del Agr. Grueso en S.S.S	gr	250,9 255,1
P10	Peso del recipiente + Agr. Grueso seco	gr	281,8 282,6
P11 = P8 - P10	Peso del agua evaporada	gr	2,7 2,7
P12 = P10 - P7	Peso del Agr. Grueso seco	gr	248,2 252,4
CAbs = ((P9 - P12) / P12) * 100	Capacidad de absorción	%	1,09 1,07
CAbsPROM	Capacidad de absorción PROM	%	1,08

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 22, mediante la norma NTE INEN 857 y ASTM C127 se determinó la densidad relativa del agregado grueso con un valor de 2.673 gr/cm³ y una capacidad de absorción de 1.08%. Denotándose que el agregado grueso es de buena calidad ya que para un buen agregado grueso la densidad relativa debe ser mayor a 2.6 gr/cm³ y la capacidad de absorción mientras más baja sea mejor será su calidad. Generalmente varían entre 0.5% y 2% para agregado grueso.

Tabla 23. Densidad relativa y capacidad de absorción del agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DENSIDAD RELATIVA Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	08/01/2020	
NORMA:	NTE INEN 856 - ASTM C128	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
DENSIDAD RELATIVA DEL AGREGADO FINO				
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALOR	
P1	Peso del picnómetro	gr	163,00	163,10
P2	Peso del picnómetro + Agr. Fino en S.S.S	gr	664,40	665,50
P3	Peso del picnómetro + Agr. Fino en S.S.S + Agua	gr	976,60	977,30
P4 = P3 - P2	Peso de agua añadida	gr	312,20	311,80
P5	Peso del picnómetro + 500 cm ³ de agua	gr	658,80	658,90
P6 = P5 - P1	Peso de los 500 cm ³ de agua	gr	495,80	495,80
DA = P6 / 500 cm ³	Densidad del agua	gr/cm ³	0,99	0,99
P7 = P6 - P4	Peso del agua desalojada	gr	183,60	184,00
P8 = P2 - P1	Peso del Agr. Fino en S.S.S	gr	501,40	502,40
VA = P7 / DA	Volumen del agua desalojada	cm ³	185,16	185,56
DRF = P8 / VA	Densidad relativa del Agr. Fino	gr/cm ³	2,708	2,707
DRF PROM = P8 / VA	Densidad relativa del Agr. Fino PROM	gr/cm³	2,708	
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO				
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALORES	
P8	Peso del recipiente	gr	33	32,4
P9	Peso del recipiente + Agr. Fino en S.S.S	gr	243	267,1
P10 = P9 - P8	Peso del Agr. Fino en S.S.S	gr	210	234,7
P11	Peso del recipiente + Agr. Fino seco	gr	240,3	264,1
P12 = P9 - P11	Peso del agua evaporada	gr	2,7	3
P13 = P11 - P8	Peso del Agr. Fino seco	gr	207,3	231,7
CAbs = ((P10 - P13) / P13) * 100	Capacidad de absorción	%	1,30	1,29
CAbsPROM	Capacidad de absorción PROM	%	1,30	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 23, mediante la norma NTE INEN 856 y ASTM C128 se determinó la densidad relativa del agregado fino con un valor de 2.708 gr/cm³ con una capacidad de absorción de 1.30%. Denotándose que el agregado fino es de buena calidad ya que para un buen agregado fino la densidad relativa debe ser mayor a 2.6 gr/cm³ y la capacidad de absorción mientras más baja sea mejor será su calidad. Generalmente varían entre 2% y 6% para agregado fino.

Tabla 24. Determinación del contenido de humedad de los agregados

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	09/01/2020	
NORMA:	NTE INEN 862 - ASTM C566	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
AGREGADO GRUESO				
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALORES	
P1	Peso del recipiente	gr	57,6	30,7
P2	Peso del recipiente + Agr. Grueso húmedo	gr	183,7	193,2
P3	Peso del recipiente + Agr. Grueso seco	gr	181,8	191,3
P4 = P2-P3	Peso del agua	gr	1,9	1,9
P5 = P3-P1	Peso del Agr. Grueso seco	gr	124,2	160,6
CH = P4/P5	Contenido de humedad	%	0,02	0,01
CHPROM	Contenido de humedad PROM	%	0,01	
AGREGADO FINO				
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALORES	
P1	Peso del recipiente	gr	24,8	24,7
P2	Peso del recipiente + Agr. Fino húmedo	gr	150,4	161,4
P3	Peso del recipiente + Agr. Fino seco	gr	135,2	148,7
P4 = P2-P3	Peso del agua	gr	15,2	12,7
P5 = P3-P1	Peso del Agr. Fino seco	gr	110,4	124
CH = P4/P5	Contenido de humedad	%	0,14	0,10
CHPROM	Contenido de humedad PROM	%	0,12	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 24, mediante la norma NTE INEN 862 y ASTM C566 se determinó el contenido de humedad de los agregados con un valor de 0.01% para el agregado grueso y de 0.12% para el agregado fino.

Tabla 25. Densidad real del cemento

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
DENSIDAD REAL DEL CEMENTO				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
ORIGEN:	CEMENTO HIDRÁULICO HOLCIM TIPO GU	FECHA:	10/01/2020	
NORMA:	NTE INEN 156 - ASTM C188	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
DENSIDAD REAL CON EL PICNÓMETRO				
NOMENCLATURA	NOMBRE	UNIDAD	VALOR	
P1	Peso del picnómetro	gr	151,93	151,80
P2	Peso del picnómetro + cemento	gr	216,56	216,63
P3	Peso del picnómetro + cemento + gasolina	gr	570,40	570,47
P4 = P3 - P2	Peso de gasolina añadida	gr	353,84	353,84
P5	Peso del picnómetro + 500 cm ³ de gasolina	gr	522,22	522,15
P6 = P5 - P1	Peso de los 500 cm ³ de gasolina	gr	370,29	370,35
DG = P6 / 500 cm ³	Densidad de gasolina	gr/cm ³	0,74	0,74
P7 = P6 - P4	Peso de gasolina desalojada	gr	16,45	16,51
P8 = P2 - P1	Peso del cemento	gr	64,63	64,83
VG = P7 / DG	Volumen de gasolina desalojada	cm ³	22,21	22,29
DRC = P8 / VG	Densidad real del cemento	gr/cm ³	2,910	2,909
DRC PROM = P8 / VG	Densidad real del cemento PROM	gr/cm³	2,909	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 25, mediante la norma NTE INEN 156 y ASTM C188 se determinó la densidad real del cemento con un valor de 2,909 gr/cm³. Denotándose que la densidad real del cemento si se encuentra en el rango que generalmente varía entre 2.9 y 3.15 gr/cm³.

3.1.2 Dosificación

Con los resultados obtenidos tras los ensayos realizados a los agregados pétreos, se procedió a elaborar la dosificación de la mezcla de hormigón patrón de $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ mediante el método de densidad óptima y sus respectivas adiciones con silicato de sodio y nanosílice.

Para el estudio del análisis de la resistencia a la compresión del hormigón, existen algunas variables que influyen en el resultado final como: Tipo de Hormigón, Tipo de Cemento, Tipo de Aditivo, Tipo de Día, Tipo de Transporte y Tiempo de Espera [43]. Por lo cual para este trabajo experimental basándose en estas variables y debido a que se pretende incorporar estas adiciones en un tipo de hormigón común de uso general: cemento Portland tipo GU, se analizará en estado fresco mediante su asentamiento con respecto al Tipo de Aditivo con el fin de ver su comportamiento en cuanto a su trabajabilidad y consistencia. Y en estado endurecido en base a su resistencia a la compresión alcanzada por Tipo de Día a los 7, 14 y 28 días con el fin de determinar el comportamiento del hormigón con respecto a sus propiedades mecánicas a las que está orientada esta investigación, y así estos puedan ser utilizados en cualquier construcción en general.

Tabla 26. Dosificación de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ mediante Método de Densidad Óptima

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN					
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL				
FECHA:	13/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA		
MÉTODO DE DENSIDAD ÓPTIMA					
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS		DATOS DE LAS TABLAS			
f'c	240	Kg/cm ²	W/C	0,56	
Asentamiento	6 - 9	cm	CP (%)	POV + 2% + 8% (POV)	
DRC	2,909	Kg/dm ³	CÁLCULOS		
DRA	2,708	Kg/dm ³	DRM	2,685	Kg/dm ³
DRR	2,673	Kg/dm ³	POV	28,50	%
DSA	1,484	Kg/dm ³	CP	327,852	dm ³
DSR	1,349	Kg/dm ³	C	362,77	Kg
POA	36,00	%	W	203,15	Ltrs
POR	64,00	%	A	655,20	Kg
DOM	1,920	Kg/dm ³	R	1149,85	Kg
DOSIFICACIÓN AL PESO DEL HORMIGÓN					
MATERIALES	CANTIDAD (KG) POR CADA M ³	DOSIFICACIÓN AL PESO	CANTIDAD (KG) POR SACO DE CEMENTO		
W	203,15	0,56	28,00		
C	362,77	1	50,00		
A	655,20	1,81	90,31		
R	1149,85	3,17	158,48		
TOTAL	2370,97	>>> Densidad del Hormigón (Kg/m ³)			
NOMENCLATURA					
DRC	Densidad Real del Cemento	CP (%)	Cantidad de Pasta Porcentual		
DRA	Densidad Relativa del Agr. Fino	DRM	Densidad Real de la Mezcla		
DRR	Densidad Relativa del Agr. Grueso	POV	Porcentaje Óptimo de Vacíos		
DSA	Densidad Suelta del Agr. Fino	CP	Cantidad de Pasta		
DSR	Densidad Suelta del Agr. Grueso	C	Cantidad de Cemento		
POA	Porcentaje Óptimo de Agr. Fino	W	Cantidad de Agua		
POR	Porcentaje Óptimo de Agr. Grueso	A	Cantidad de Arena		
DOM	Densidad Óptima de la Mezcla de Agregados	R	Cantidad de Ripio		
W/C	Relación Agua - Cemento				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 26, se logró determinar la cantidad necesaria de materiales tales como agua (W), cemento (C), arena (A) y ripio (R) que se utilizaron en el diseño de mezcla para el hormigón patrón, tanto para su cantidad por m³ 203.15 kg/m³ (W), 362.77 kg/m³ (C), 655.20 kg/m³ (A), 1149.85 kg/m³ (R), su dosificación al peso 0.56 (W), 1 (C), 1.81 (A), 3.17 (R), y su cantidad por saco de cemento 28.00 kg (W), 50.00 kg (C), 90.31 kg (A) y 158.48 kg (R). Con una densidad del hormigón esperada de 2370.97 Kg/m³.

3.1.3 Dosificación al peso de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

Tabla 27. Dosificación al peso del Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
FECHA:	13/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA			
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA						
VOLUMEN POR CILINDRO (m3):	0,0017	DÍAS DE CURADO				
DÍAS DE CURADO:		7 días	14 días	28 días		
NÚMERO DE CILINDROS :		3	3	3		
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA:		10				
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3) :		0,017				
DOSIFICACIÓN AL PESO PARA LOS CILINDROS						
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA		UNIDAD			
Cemento	6,14		Kg			
Agua	3,44		Ltrs			
Arena	11,08		Kg			
Ripio	19,45		Kg			
CORRECCIÓN DE HUMEDAD						
MATERIALES	CAPACIDAD DE ABSORCIÓN (CA%)	CONTENIDO DE HUMEDAD (CH%)	CORRECCIÓN HUMEDAD		CANTIDAD CORREGIDA POR PARADA	UNIDAD
			%	Kg		
Cemento	-	-	-	-	6,14	Kg
Agua	-	-	-	0,34	3,77	Ltrs
Arena	1,30	0,12	1,18	0,13	10,95	Kg
Ripio	1,08	0,01	1,07	0,21	19,24	Kg
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>						

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 27, se logró determinar la cantidad necesaria al peso de los materiales para el número de cilindros a elaborar por parada, cuya cantidad corregida de cemento (C) es 6.14 kg, agua (W) 3.77 ltrs, arena (A) 10.95 kg y ripio (R) 19.24 kg.

3.1.4 Dosificación al peso con adición de silicato de sodio

Tabla 28. Dosificación al peso con 4% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	14/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m3)	0,0017	DÍAS DE CURADO		
DIAS DE CURADO		7 días	14 días	28 días
NÚMERO DE CILINDROS		3	3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA		10		
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3)		0,017		
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO	UNIDAD	
Cemento	6,14	5,89	Kg	
Agua	3,77	3,61	Ltrs	
Arena	10,95	10,95	Kg	
Ripio	19,24	19,24	Kg	
4% Silicato de Sodio	0,00	0,25	Kg	
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Silicato de Sodio	4,00%	1,513	0,25	0,16
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 28, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en un 4% con silicato de sodio, cuya cantidad final de cemento (C) es de 5.89 kg y cantidad de agua (W) de 3.61 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.25 kg de cemento y 0.16 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

Tabla 29. Dosificación al peso con 8% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	14/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m³)	0,0017	DÍAS DE CURADO		
DIAS DE CURADO		7 días	14 días	28 días
NÚMERO DE CILINDROS		3	3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA		10		
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m³)		0,017		
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO	UNIDAD	
Cemento	6,14	5,65	Kg	
Agua	3,77	3,45	Ltrs	
Arena	10,95	10,95	Kg	
Ripio	19,24	19,24	Kg	
8% Silicato de Sodio	0,00	0,49	Kg	
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Silicato de Sodio	8,00%	1,513	0,49	0,32
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 29, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en un 8% con silicato de sodio, cuya cantidad final de cemento (C) es de 5.65 kg y cantidad de agua (W) de 3.45 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.49 kg de cemento y 0.32 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

Tabla 30. Dosificación al peso con 12% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	14/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m3)	0,0017		DÍAS DE CURADO	
DÍAS DE CURADO			7 días	14 días
NÚMERO DE CILINDROS			3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA			10	
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3)			0,017	
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO	UNIDAD	
Cemento	6,14	5,40	Kg	
Agua	3,77	3,29	Ltrs	
Arena	10,95	10,95	Kg	
Ripio	19,24	19,24	Kg	
12% Silicato de Sodio	0,00	0,74	Kg	
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Silicato de Sodio	12,00%	1,513	0,74	0,49
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 30, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en un 12% con silicato de sodio, cuya cantidad final de cemento (C) es de 5.65 kg y cantidad de agua (W) de 3.45 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.74 kg de cemento y 0.49 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

3.1.5 Dosificación al peso con adición de nanosílice

Tabla 31. Dosificación al peso con 1% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	15/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m3)	0,0017		DÍAS DE CURADO	
DÍAS DE CURADO		7 días	14 días	28 días
NÚMERO DE CILINDROS		3	3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA		10		
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3)		0,017		
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO		UNIDAD
Cemento	6,14	6,07		Kg
Agua	3,77	3,72		Ltrs
Arena	10,95	10,95		Kg
Ripio	19,24	19,24		Kg
1% Nanosílice	0,00	0,06		Kg
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Nanosílice	1,00%	1,14	0,06	0,05
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 31, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en 1% con nanosílice, cuya cantidad final de cemento (C) es de 6.07 kg y cantidad de agua (W) de 3.72 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.06 kg de cemento y 0.05 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

Tabla 32. Dosificación al peso con 3% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	15/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m3)	0,0017		DÍAS DE CURADO	
DIAS DE CURADO			7 días	14 días
NÚMERO DE CILINDROS			3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA			10	
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3)			0,017	
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO	UNIDAD	
Cemento	6,14	5,95	Kg	
Agua	3,77	3,61	Ltrs	
Arena	10,95	10,95	Kg	
Ripio	19,24	19,24	Kg	
3% Nanosílice	0,00	0,18	Kg	
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Nanosílice	3,00%	1,14	0,18	0,16
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 32, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en un 3% con nanosílice, cuya cantidad final de cemento (C) es de 5.95 kg y cantidad de agua (W) de 3.61 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.18 kg de cemento y 0.16 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

Tabla 33. Dosificación al peso con 5% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
DOSIFICACIÓN AL PESO CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
FECHA:	15/01/2020	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA	
VOLUMEN NECESARIO DE HORMIGÓN POR PARADA				
VOLUMEN POR CILINDRO (m3)	0,0017	DÍAS DE CURADO		
DÍAS DE CURADO		7 días	14 días	28 días
NÚMERO DE CILINDROS		3	3	3
TOTAL DE CILINDROS POR PARADA		10		
VOLUMEN DE HORMIGÓN POR PARADA (m3)		0,017		
DOSIFICACIÓN AL PESO POR PARADA CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE				
MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA POR PARADA	CANTIDAD NECESARIA Y CORREGIDA POR SUSTITUCIÓN PARCIAL DEL CEMENTO		UNIDAD
Cemento	6,14	5,83		Kg
Agua	3,77	3,50		Ltrs
Arena	10,95	10,95		Kg
Ripio	19,24	19,24		Kg
5% Nanosílice	0,00	0,31		Kg
ADICIÓN				
NOMBRE	% DE ADICIÓN RESPECTO AL CEMENTO	DENSIDAD (Kg/Ltrs)	PESO (Kg)	VOLUMEN (Ltrs)
Nanosílice	5,00%	1,14	0,31	0,27
<i>Nota: Son necesarios 9 cilindros por parada sin embargo se harán 10 debido a la pérdida de material que se puede presentar en obra</i>				

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados:

De acuerdo a la tabla 33, una vez obtenida la dosificación inicial (tabla 27) se logró determinar la dosificación por sustitución parcial del cemento en un 5% con nanosílice, cuya cantidad final de cemento (C) es de 5.83 kg y cantidad de agua (W) de 3.50 ltrs por adición, denotándose una disminución de 0.31 kg de cemento y 0.27 ltrs de agua, pero manteniéndose los valores de arena (A) y ripio (R) a la dosificación inicial.

3.1.6 Propiedades del hormigón en estado fresco

Tabla 34. Propiedades del hormigón $f'c=240$ kg/cm² en estado fresco

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
HORMIGÓN $f'c=240$ KG/CM ² EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		15/01/2020		
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m):			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	M1	0,103	0,0083	4,679	8,729	4,05	0,0017	7,00	2394,389	2395,64
	M2	0,103	0,0083	4,811	8,867	4,06	0,0017	7,00	2397,936	
	M3	0,103	0,0083	4,747	8,798	4,05	0,0017	7,00	2394,980	
14	M4	0,103	0,0083	5,16	9,214	4,05	0,0017	7,00	2396,754	
	M5	0,103	0,0083	5,208	9,258	4,05	0,0017	7,00	2394,389	
	M6	0,103	0,0083	5,15	9,201	4,05	0,0017	7,00	2394,980	
28	M7	0,103	0,0083	4,676	8,728	4,05	0,0017	7,00	2395,571	
	M8	0,103	0,0083	4,732	8,783	4,05	0,0017	7,00	2394,980	
	M9	0,103	0,0083	4,684	8,738	4,05	0,0017	7,00	2396,754	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 34, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón de $f'c = 240$ kg/cm² mediante la norma ASTM C143 con un valor de 7 cm, el cual se encuentra en el rango (6 cm – 9 cm) para el cual fue diseñada. Con una densidad promedio determinada en función de la norma ASTM C138 de 2395,64 kg/m³.

Tabla 35. Propiedades del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio en estado fresco

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		05/02/2020		
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m)			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MSS1	0,103	0,0083	4,683	8,732	4,05	0,0017	6,50	2393,797	2393,99
	MSS2	0,103	0,0083	4,768	8,818	4,05	0,0017	6,50	2394,389	
	MSS3	0,103	0,0083	4,706	8,754	4,05	0,0017	6,50	2393,206	
14	MSS4	0,103	0,0083	4,598	8,648	4,05	0,0017	6,50	2394,389	
	MSS5	0,103	0,0083	4,739	8,788	4,05	0,0017	6,50	2393,797	
	MSS6	0,103	0,0083	4,787	8,835	4,05	0,0017	6,50	2393,206	
28	MSS7	0,103	0,0083	4,651	8,699	4,05	0,0017	6,50	2393,206	
	MSS8	0,103	0,0083	4,783	8,833	4,05	0,0017	6,50	2394,389	
	MSS9	0,103	0,0083	4,759	8,811	4,05	0,0017	6,50	2395,571	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 35, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 4% de adición de silicato de sodio mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 6.50 cm con el cual se encuentra dentro del rango inicial (6 cm – 9 cm), pero denota una reducción de 0.50 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2393.99 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395.64 kg/m³ con una reducción del 0.07 % del valor inicial.

Tabla 36. Propiedades del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio en estado fresco

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		13/02/2020		
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m)		0,203								
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MSS10	0,103	0,0083	4,68	8,722	4,04	0,0017	5,50	2389,659	2390,64
	MSS11	0,103	0,0083	4,766	8,810	4,04	0,0017	5,50	2390,841	
	MSS12	0,103	0,0083	4,704	8,749	4,05	0,0017	5,50	2391,433	
14	MSS13	0,103	0,0083	4,594	8,638	4,04	0,0017	5,50	2390,841	
	MSS14	0,103	0,0083	4,738	8,783	4,05	0,0017	5,50	2391,433	
	MSS15	0,103	0,0083	4,786	8,829	4,04	0,0017	5,50	2390,250	
28	MSS16	0,103	0,0083	4,649	8,691	4,04	0,0017	5,50	2389,659	
	MSS17	0,103	0,0083	4,782	8,827	4,05	0,0017	5,50	2391,433	
	MSS18	0,103	0,0083	4,757	8,800	4,04	0,0017	5,50	2390,250	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 36, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 8% de adición de silicato de sodio mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 5.50 cm con el cual se encuentra fuera del rango inicial (6 cm – 9 cm), y denota una reducción de 1.50 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2390.64 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395.64 kg/m³ con una reducción del 0.21 % del valor inicial.

Tabla 37. Propiedades del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio en estado fresco

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 										
HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL					FECHA:	18/02/2020			
NORMA:	ASTM C138 - ASTM C143					REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA			
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m)			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MSS19	0,103	0,0083	4,678	8,711	4,03	0,0017	4,50	2384,338	2386,31
	MSS20	0,103	0,0083	4,765	8,802	4,04	0,0017	4,50	2386,703	
	MSS21	0,103	0,0083	4,703	8,742	4,04	0,0017	4,50	2387,885	
14	MSS22	0,103	0,0083	4,593	8,631	4,04	0,0017	4,50	2387,294	
	MSS23	0,103	0,0083	4,738	8,780	4,04	0,0017	4,50	2389,659	
	MSS24	0,103	0,0083	4,785	8,815	4,03	0,0017	4,50	2382,565	
28	MSS25	0,103	0,0083	4,648	8,688	4,04	0,0017	4,50	2388,477	
	MSS26	0,103	0,0083	4,78	8,815	4,04	0,0017	4,50	2385,521	
	MSS27	0,103	0,0083	4,757	8,790	4,03	0,0017	4,50	2384,338	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 37, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 12% de adición de silicato de sodio mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 4.50 cm con el cual se encuentra fuera del rango inicial (6 cm – 9 cm), y denota una reducción de 2.50 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2386.31 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395.64 kg/m³ con una reducción del 0.39 % del valor inicial.

Tabla 38. Propiedades del hormigón con 1% de adición de nanosílice en estado fresco

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		22/01/2020		
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m) :			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MNS1	0,103	0,0083	4,676	8,711	4,04	0,0017	6,00	2385,521	2385,85
	MNS2	0,103	0,0083	4,764	8,805	4,04	0,0017	6,00	2389,068	
	MNS3	0,103	0,0083	4,808	8,838	4,03	0,0017	6,00	2382,565	
14	MNS4	0,103	0,0083	4,743	8,780	4,04	0,0017	6,00	2386,703	
	MNS5	0,103	0,0083	4,684	8,719	4,04	0,0017	6,00	2385,521	
	MNS6	0,103	0,0083	4,785	8,816	4,03	0,0017	6,00	2383,156	
28	MNS7	0,103	0,0083	4,584	8,619	4,04	0,0017	6,00	2385,521	
	MNS8	0,103	0,0083	4,732	8,769	4,04	0,0017	6,00	2386,703	
	MNS9	0,103	0,0083	4,65	8,689	4,04	0,0017	6,00	2387,885	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 38, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 1% de adición de nanosílice mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 6 cm con el cual se encuentra aún en el rango inicial, pero denota una reducción de 1 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2385,85 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395,64 kg/m³ con una reducción del 0,41 % del valor inicial.

Tabla 39. Propiedades del hormigón con 3% de adición de nanosílice en estado fresco

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 										
HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		28/01/2020		
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m)			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MNS10	0,103	0,0083	4,675	8,699	4,02	0,0017	5,00	2379,017	2380,46
	MNS11	0,103	0,0083	4,766	8,793	4,03	0,0017	5,00	2380,791	
	MNS12	0,103	0,0083	4,683	8,713	4,03	0,0017	5,00	2382,565	
14	MNS13	0,103	0,0083	4,568	8,594	4,03	0,0017	5,00	2380,200	
	MNS14	0,103	0,0083	4,735	8,760	4,03	0,0017	5,00	2379,609	
	MNS15	0,103	0,0083	4,803	8,830	4,03	0,0017	5,00	2380,791	
28	MNS16	0,103	0,0083	4,644	8,672	4,03	0,0017	5,00	2381,382	
	MNS17	0,103	0,0083	4,74	8,764	4,02	0,0017	5,00	2379,017	
	MNS18	0,103	0,0083	4,807	8,834	4,03	0,0017	5,00	2380,791	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 39, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 3% de adición de nanosílice mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 5 cm con el cual se encuentra fuera del rango inicial (6 cm – 9 cm), y denota una reducción de 2 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2380,46 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395,64 kg/m³ con una reducción del 0,63 % del valor inicial.

Tabla 40. Propiedades del hormigón con 5% de adición de nanosílice en estado fresco

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
HORMIGÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.										
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL			FECHA:		30/01/2020			
NORMA:		ASTM C143 - ASTM C138			REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
PROPIEDADES DEL HORMIGÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN ESTADO FRESCO										
Altura del Molde Cilíndrico (m)			0,203							
Número de días	Denominación del Molde	Diámetro del Molde (m)	Área del Molde (m ²)	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Hormigón (Kg)	Peso del Hormigón (Kg)	Volumen del Molde (m ³)	Asentamiento (cm)	Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)
7	MNS19	0,103	0,0083	4,568	8,587	4,02	0,0017	4,00	2376,061	2374,62
	MNS20	0,103	0,0083	4,811	8,829	4,02	0,0017	4,00	2375,470	
	MNS21	0,103	0,0083	4,679	8,693	4,01	0,0017	4,00	2373,105	
14	MNS22	0,103	0,0083	4,785	8,801	4,02	0,0017	4,00	2374,288	
	MNS23	0,103	0,0083	4,732	8,748	4,02	0,0017	4,00	2374,288	
	MNS24	0,103	0,0083	4,568	8,586	4,02	0,0017	4,00	2375,470	
28	MNS25	0,103	0,0083	4,684	8,698	4,01	0,0017	4,00	2373,105	
	MNS26	0,103	0,0083	4,74	8,758	4,02	0,0017	4,00	2375,470	
	MNS27	0,103	0,0083	4,803	8,819	4,02	0,0017	4,00	2374,288	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 40, se determinó el asentamiento en estado fresco del hormigón patrón con 5% de adición de nanosílice mediante la norma ASTM C143, dando un valor de 4 cm con el cual se encuentra fuera del rango inicial (6 cm – 9 cm), y denota una reducción de 3 cm en comparación a la muestra patrón. Con una densidad promedio determinada mediante la norma ASTM C138 de 2374,62 kg/m³ la cual es menor a la de la muestra patrón de 2395,64 kg/m³ con una reducción del 0,88 % del valor inicial.

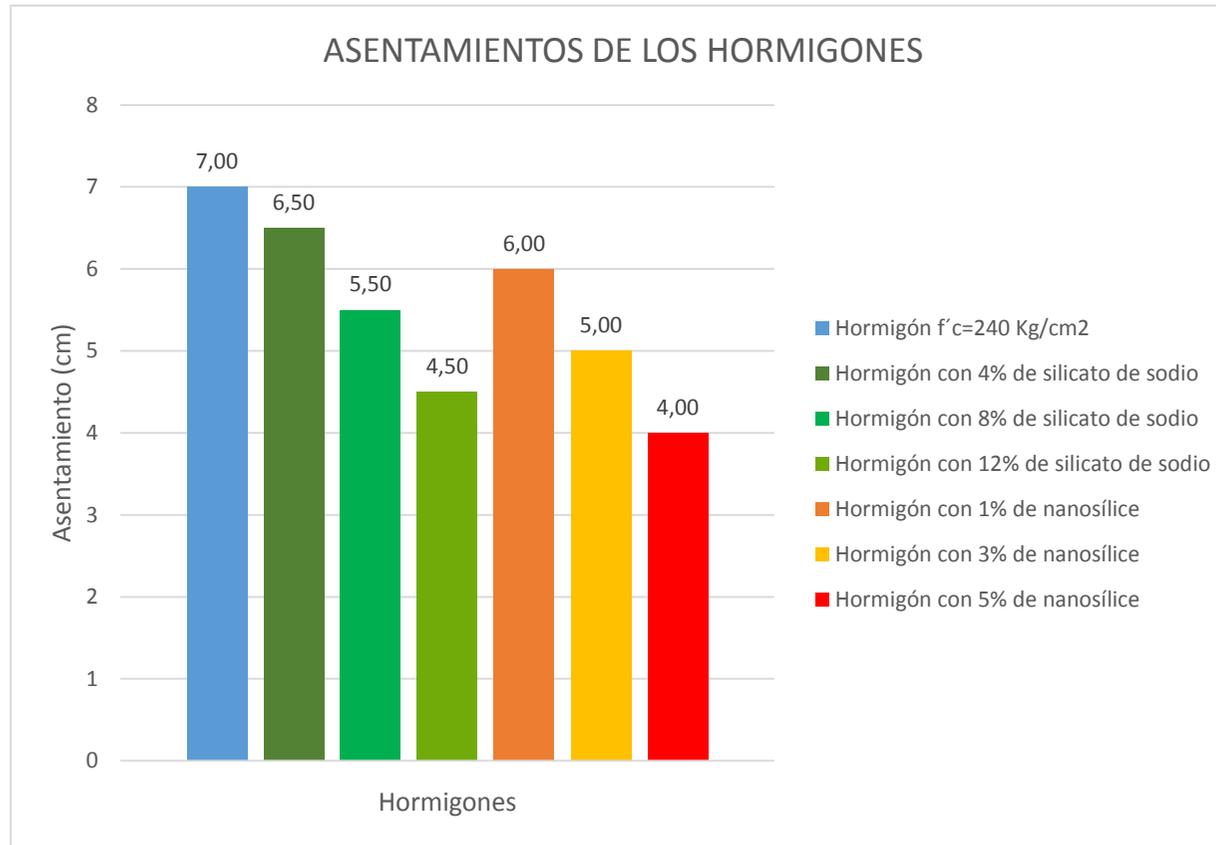
3.1.7 Revenimiento de los hormigones

Tabla 41. Resultados de los asentamientos de los Hormigones

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
ASENTAMIENTO DE LOS HORMIGONES			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL	FECHA:	19/02/2019
NORMA:	NTE INEN 1578 - ASTM C143	REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA
RESULTADOS DE LOS ASENTAMIENTOS DE LOS HORMIGONES			
TIPO DE HORMIGÓN	ASENTAMIENTO	CONSISTENCIA	
Hormigón de F'c = 240 Kg/cm2	7 cm	Media	
Hormigón con 4% de silicato de sodio	6,5 cm	Media	
Hormigón con 8% de silicato de sodio	5,5 cm	Media	
Hormigón con 12% de silicato de sodio	4,5 cm	Semi-seca	
Hormigón con 1% de nanosílice	6 cm	Media	
Hormigón con 3% de nanosílice	5 cm	Media	
Hormigón con 5% de nanosílice	4 cm	Semi-seca	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 1. Asentamiento de los Hormigones



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 41 y el gráfico 1, se determinó el asentamiento de cada uno de los hormigones elaborados mediante la norma ASTM C143, obteniéndose para el hormigón patrón $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$ un valor de 7.0 cm, mientras que para la adición de silicato de sodio al 4%, 8% y 12% se obtuvo un asentamiento del 6.5 cm, 5.5 cm y 4.5 cm respectivamente. Para la adición de nanosílice al 1%, 3% y 5% en cambio se obtuvo un asentamiento de 6 cm, 5 cm y 4 cm respectivamente. Denotándose así una disminución de la trabajabilidad en las mezclas con las adiciones, de las cuales las que presentan mejor trabajabilidad de mezcla son la del 4% con silicato de sodio y la del 1% de nanosílice, determinándose que conforme aumenta el porcentaje de adición se reduce la trabajabilidad.

3.1.8 Ensayo de la resistencia a la compresión de los hormigones

3.1.8.1 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm²

Tabla 42. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ Kg/cm² a los 7 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:			23/01/2020	
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:			JEFFERSON CAIZA	
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c=240$ KG/CM ² A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			15/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			23/01/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
M1	3,939	10,200	81,713	20,200	0,0017	127,000	12950,190	2386,406	2387,392	158,484	159,706
M2	4,040	10,300	83,323	20,300	0,0017	130,000	13256,100	2388,477		159,093	
M3	4,038	10,300	83,323	20,300	0,0017	132,000	13460,040	2387,294		161,541	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 42, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido mediante la norma ASTM C138, obteniéndose para el hormigón patrón $f'c=240$ kg/cm² a los 7 días de curado un valor promedio de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 159.706 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39.

Tabla 43. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ Kg/cm² a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		30/01/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c=240$ KG/CM ² A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			15/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			30/01/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
M4	4,042	10,300	83,323	20,300	0,0017	168,000	17130,960	2389,659	2389,308	205,597	212,458
M5	3,942	10,200	81,713	20,200	0,0017	175,000	17844,750	2388,224		218,384	
M6	3,945	10,200	81,713	20,200	0,0017	171,000	17436,870	2390,041		213,392	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 43, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido mediante la norma ASTM C138, obteniéndose para el hormigón patrón $f'c=240$ kg/cm² a los 14 días de curado un valor promedio de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 212.458 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39.

Tabla 44. Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ Kg/cm² a los 28 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		13/02/2020			
NORMA:		ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN $f'c=240$ KG/CM ² A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			15/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			13/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
M7	4,047	10,300	83,323	20,300	0,0017	201,000	20495,970	2392,615	2392,024	245,982	245,575
M8	4,043	10,300	83,323	20,300	0,0017	202,000	20597,940	2390,250		247,206	
M9	4,048	10,300	83,323	20,300	0,0017	199,000	20292,030	2393,206		243,535	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 44, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido mediante la norma ASTM C138, obteniéndose para el hormigón patrón $f'c=240$ kg/cm² a los 28 días de curado un valor promedio de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 245.575 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39.

3.1.8.2 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm² con adición de silicato de sodio

Tabla 45. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 7 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL			FECHA:		12/02/2020			
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)			REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			04/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS1	4,035	10,300	83,323	20,300	0,0017	135,000	13765,950	2385,521	2385,521	165,212	162,765
MSS2	4,032	10,300	83,323	20,300	0,0017	131,000	13358,070	2383,747		160,317	
MSS3	4,038	10,300	83,323	20,300	0,0017	133,000	13562,010	2387,294		162,765	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 45, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 4 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2385.521 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.078 % con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 162.765 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 1.915% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 46. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 14 días

 <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL </div> 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		19/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			04/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			19/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS4	4,040	10,300	83,323	20,300	0,0017	178,000	18150,660	2388,477	2388,280	217,835	218,243
MSS5	4,038	10,300	83,323	20,300	0,0017	181,000	18456,570	2387,294		221,507	
MSS6	4,041	10,300	83,323	20,300	0,0017	176,000	17946,720	2389,068		215,388	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 46, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 4 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2388.280 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.043 % con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 218.243 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 2.723 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 47. Ensayo a compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		04/03/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			04/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			04/03/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS7	4,045	10,300	83,323	20,300	0,0017	210,000	21413,700	2391,433	2391,039	256,997	258,220
MSS8	4,041	10,300	83,323	20,300	0,0017	215,000	21923,550	2389,068		263,116	
MSS9	4,047	10,300	83,323	20,300	0,0017	208,000	21209,760	2392,615		254,549	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 47, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 4 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2391.039 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.041 % con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 258.220 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 5.149 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm²

Tabla 48. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 7 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL			FECHA:		19/02/2020			
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)			REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			11/02/2020			FECHA DE ENSAYO:		19/02/2020			
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS10	4,031	10,300	83,323	20,300	0,0017	149,000	15193,530	2383,156	2383,156	182,345	176,634
MSS11	4,030	10,300	83,323	20,300	0,0017	140,000	14275,800	2382,565		171,331	
MSS12	4,032	10,300	83,323	20,300	0,0017	144,000	14683,680	2383,747		176,226	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 48, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 8 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2383.156 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.178 % con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 176.634 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 10.599 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 49. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		26/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			11/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			26/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS13	4,033	10,300	83,323	20,300	0,0017	194,000	19782,180	2384,338	2385,324	237,416	236,192
MSS14	4,036	10,300	83,323	20,300	0,0017	196,000	19986,120	2386,112		239,863	
MSS15	4,035	10,300	83,323	20,300	0,0017	189,000	19272,330	2385,521		231,297	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 49, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 8 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2385.324 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.167 % con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 236.192 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 11.171 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 50. Ensayo a compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		11/03/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			11/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			11/03/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS16	4,039	10,300	83,323	20,300	0,0017	223,000	22739,310	2387,885	2388,082	272,906	276,577
MSS17	4,041	10,300	83,323	20,300	0,0017	230,000	23453,100	2389,068		281,472	
MSS18	4,038	10,300	83,323	20,300	0,0017	225,000	22943,250	2387,294		275,354	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 50, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 8 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2388.082 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.165 % con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 276.577 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 12.624 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm².

Tabla 51. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 7 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		20/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			12/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			20/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS19	4,021	10,300	83,323	20,300	0,0017	160,000	16315,200	2377,244	2379,214	195,807	190,504
MSS20	4,025	10,300	83,323	20,300	0,0017	151,000	15397,470	2379,609		184,793	
MSS21	4,027	10,300	83,323	20,300	0,0017	156,000	15907,320	2380,791		190,912	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 51, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 12 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2379.214 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.343 % con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 190.504 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 19.284 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 52. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 14 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			Mina Santa Isabel			FECHA:		27/02/2020			
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)			REALIZÓ:		Jefferson Caiza			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			12/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			27/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS22	4,029	10,300	83,323	20,300	0,0017	214,000	21821,580	2381,973	2382,170	261,892	261,484
MSS23	4,031	10,300	83,323	20,300	0,0017	209,000	21311,730	2383,156		255,773	
MSS24	4,028	10,300	83,323	20,300	0,0017	218,000	22229,460	2381,382		266,787	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 52, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 12 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2382.170 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.299 % con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 261.484 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 23.076 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 53. Ensayo a compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		12/03/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			12/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			12/03/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MSS25	4,035	10,300	83,323	20,300	0,0017	242,000	24676,740	2385,521	2384,338	296,158	292,079
MSS26	4,033	10,300	83,323	20,300	0,0017	239,000	24370,830	2384,338		292,487	
MSS27	4,031	10,300	83,323	20,300	0,0017	235,000	23962,950	2383,156		287,591	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

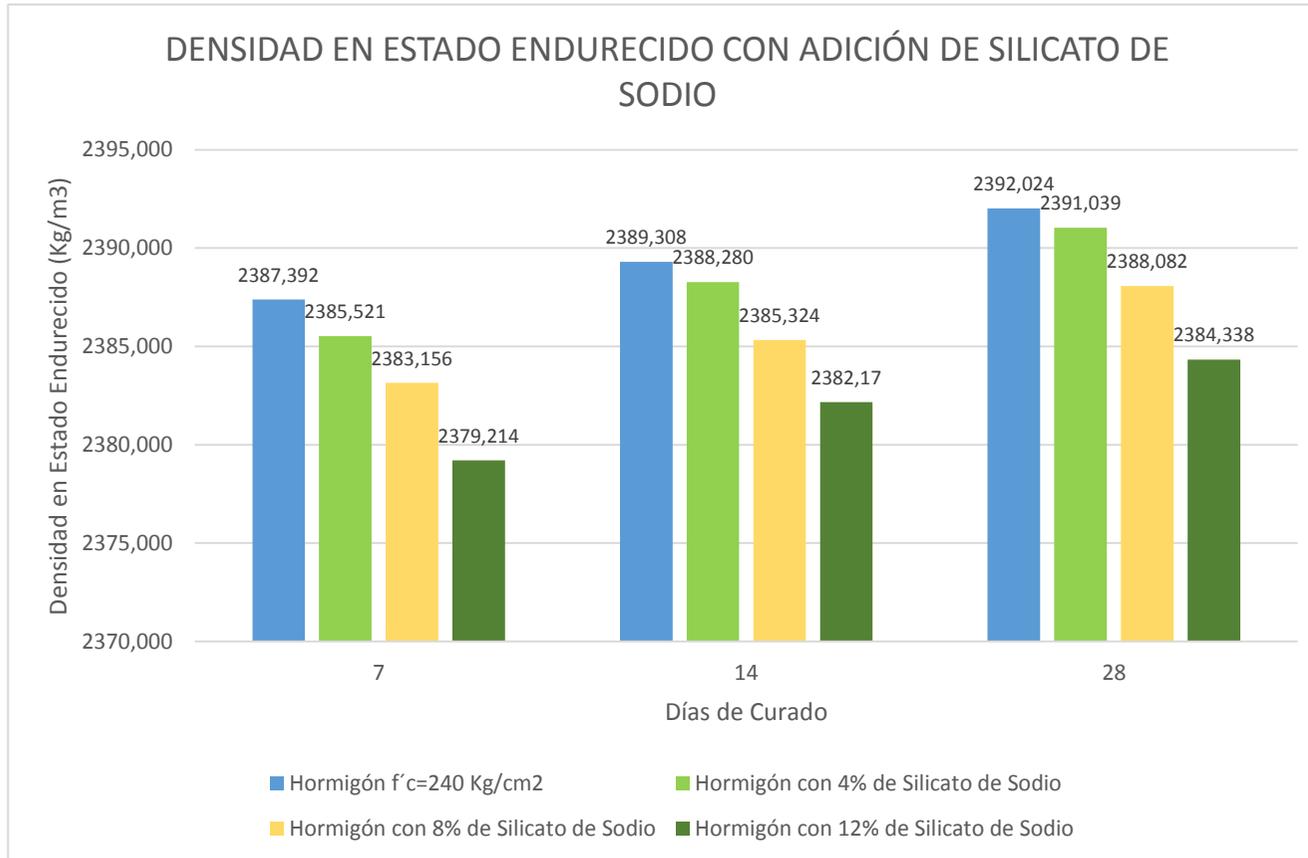
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 53, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 12 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2384.338 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.321 % con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 292.079 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 18.937 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm².

Tabla 54. Comparación de la densidad y la resistencia del hormigón con silicato de sodio en estado endurecido

Tipo de Hormigón		Densidad en estado endurecido (kg/m ³)			Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
		Días de curado			Días de curado		
		7	14	28	7	14	28
Hormigón patrón de f'c=240 kg/cm²		2387,392	2389,308	2392,024	159,706	212,458	245,575
Hormigón patrón con adición de Silicato de Sodio	4%	2385,521	2388,280	2391,039	162,765	218,243	258,220
	8%	2383,156	2385,324	2388,082	176,634	236,192	276,577
	12%	2379,214	2382,17	2384,338	190,504	261,484	292,079

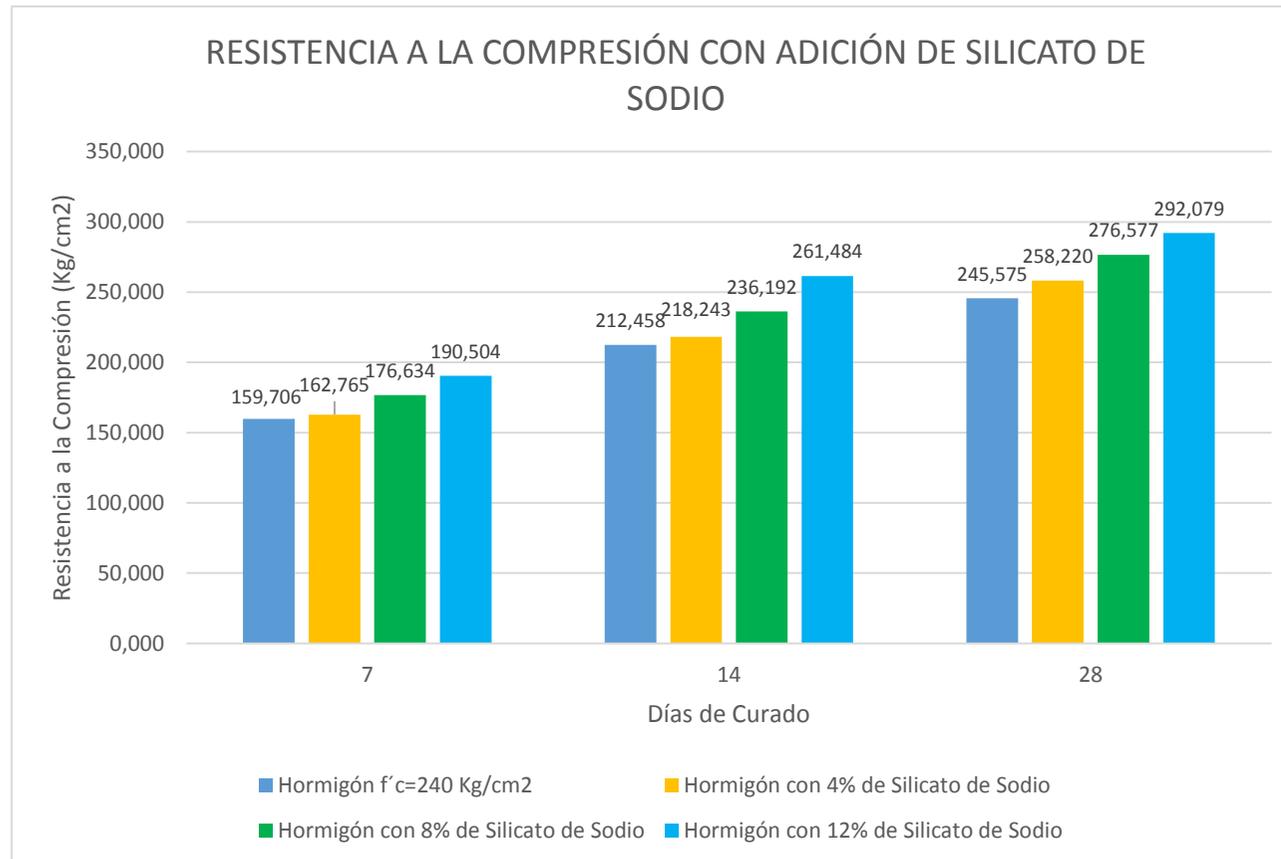
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 2. Densidad en estado endurecido con adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 3. Resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio



Fuente: Egado. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 54, gráfico 2 y gráfico 3, se determinó la densidad de los especímenes elaborados en estado endurecido con adición de silicato de sodio al 4%, 8% y 12 % a los 7, 14 y 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose una disminución de la densidad a los 7 días del 0.078% con la adición al 4%, una disminución del 0.178 % con la adición del 8% y una disminución del 0.343% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Una disminución de la densidad a los 14 días del 0.043% con la adición al 4%, una disminución del 0.167 % con la adición del 8% y una disminución del 0.299% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Una disminución de la densidad a los 28 días del 0.041% con la adición al 4%, una disminución del 0.165% con la adición del 8% y una disminución del 0.321% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Y se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados mediante la norma ASTM C39, obteniéndose un aumento de la resistencia a la compresión a los 7 días del 1.915% con la adición al 4%, un aumento del 10.599% con la adición del 8% y un aumento del 19.284% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 14 días del 2.723% con la adición al 4%, un aumento del 11.171% con la adición del 8% y un aumento del 23.076% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días del 5.149% con la adición al 4%, un aumento del 12.624% con la adición del 8% y un aumento del 18.937% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Denotándose que conforme se aumenta el porcentaje de adición de silicato de sodio su densidad en estado endurecido disminuye mínimamente pero aumenta progresivamente su resistencia a la compresión, teniendo en cuenta que mientras más denso sea el hormigón, más pequeños son sus poros, menos agua puede atravesarlo y de esto dependerá su durabilidad, debido a que el agua que pueda ingresar contenga sustancias agresivas para el hormigón.

3.1.8.3 Ensayo a compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm² con adición de nanosílice

Tabla 55. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 7 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		30/01/2020			
NORMA:		ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			22/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			30/01/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS1	4,016	10,300	83,323	20,300	0,0017	203,000	20699,910	2374,288	2374,485	248,430	243,943
MNS2	4,018	10,300	83,323	20,300	0,0017	197,000	20088,090	2375,470		241,087	
MNS3	4,015	10,300	83,323	20,300	0,0017	198,000	20190,060	2373,696		242,311	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 55, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 1 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2374.485 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.54 % con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 243.943 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve significativamente incrementada en un 52.745% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 56. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 14 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		06/02/2020			
NORMA:		ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			22/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			06/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS3	4,005	10,300	83,323	20,200	0,0017	238,000	24268,860	2379,506	2378,356	291,263	297,382
MNS4	4,021	10,300	83,323	20,300	0,0017	247,000	25186,590	2377,244		302,277	
MNS5	4,003	10,300	83,323	20,200	0,0017	244,000	24880,680	2378,318		298,606	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 56, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 1 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2378.356 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.46% con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 297.382 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 39.97 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 57. Ensayo a compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		20/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			22/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			20/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS7	4,029	10,300	83,323	20,300	0,0017	260,000	26512,200	2381,973	2382,170	318,186	318,186
MNS8	4,030	10,300	83,323	20,300	0,0017	261,000	26614,170	2382,565		319,410	
MNS9	4,029	10,300	83,323	20,300	0,0017	259,000	26410,230	2381,973		316,962	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 57, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 1 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2382.170 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.41% con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 318.186 Kg/cm² mediante a norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 29.57% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm².

Tabla 58. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 7 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		05/02/2020			
NORMA:		ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 7 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			28/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			05/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS10	4,011	10,300	83,323	20,300	0,0017	208,000	21209,760	2371,332	2373,499	254,549	258,220
MNS11	4,019	10,300	83,323	20,300	0,0017	210,000	21413,700	2376,061		256,997	
MNS12	4,014	10,300	83,323	20,300	0,0017	215,000	21923,550	2373,105		263,116	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 58, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 3 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2373.499 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.58 % con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 258.220 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 61.685 % de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 59. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		12/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 14 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			28/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			12/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS13	4,016	10,300	83,323	20,300	0,0017	248,000	25288,560	2374,288	2375,667	303,501	305,948
MNS14	4,021	10,300	83,323	20,300	0,0017	250,000	25492,500	2377,244		305,948	
MNS15	4,018	10,300	83,323	20,300	0,0017	252,000	25696,440	2375,470		308,396	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 59, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 3 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2375.667 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.570% con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 305.948 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 44.00% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 60. Ensayo a compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice a los 28 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:		MINA SANTA ISABEL				FECHA:		26/02/2020			
NORMA:		ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA			
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 28 DIAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			28/01/2020			FECHA DE ENSAYO:			26/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS16	4,024	10,300	83,323	20,300	0,0017	292,000	29775,240	2379,017	2378,032	357,348	355,308
MNS17	4,022	10,300	83,323	20,300	0,0017	290,000	29571,300	2377,835		354,900	
MNS18	4,021	10,300	83,323	20,300	0,0017	289,000	29469,330	2377,244		353,676	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 60, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 3 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2378.032 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.585% con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 355.308 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 44.684% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm².

Tabla 61. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 7 días

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		14/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 7 DÍAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			06/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			14/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS19	4,004	10,300	83,323	20,300	0,0017	152,000	15499,440	2367,193	2366,799	186,017	185,609
MNS20	4,007	10,300	83,323	20,300	0,0017	149,000	15193,530	2368,967		182,345	
MNS21	3,999	10,300	83,323	20,300	0,0017	154,000	15703,380	2364,237		188,464	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 61, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 5 % a los 7 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2366.799 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.863% con respecto al hormigón patrón de 2387.392 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 185.609 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 16.219% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 159.706 Kg/cm².

Tabla 62. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 14 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		21/02/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 14 DÍAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			06/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			21/02/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS22	4,006	10,300	83,323	20,300	0,0017	201,000	20495,970	2368,376	2369,952	245,982	240,271
MNS23	4,009	10,300	83,323	20,300	0,0017	195,000	19884,150	2370,149		238,640	
MNS24	4,011	10,300	83,323	20,300	0,0017	193,000	19680,210	2371,332		236,192	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 62, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 5 % a los 14 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2369.952 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.810% con respecto al hormigón patrón de 2389.308 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 240.271 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 13.091% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 212.458 Kg/cm².

Tabla 63. Ensayo a compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice a los 28 días

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 											
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN											
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'c = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.											
ORIGEN:			MINA SANTA ISABEL				FECHA:		06/03/2020		
NORMA:			ASTM C138 - ASTM C39 (NTE INEN 1573)				REALIZÓ:		JEFFERSON CAIZA		
ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE A LOS 28 DÍAS											
FECHA DE ELABORACIÓN:			06/02/2020			FECHA DE ENSAYO:			06/03/2020		
Denominación Probeta	Peso Probeta (Kg)	Diámetro Probeta (cm)	Área Probeta (cm ²)	Altura Probeta (cm)	Volumen Probeta (m ³)	Carga		Densidad (Kg/m ³)	Densidad Promedio (Kg/m ³)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Resistencia Compresión Promedio (Kg/cm ²)
						KN	Kg				
MNS25	4,015	10,300	83,323	20,300	0,0017	235,000	23962,950	2373,696	2372,317	287,591	283,104
MNS26	4,011	10,300	83,323	20,300	0,0017	228,000	23249,160	2371,332		279,025	
MNS27	4,012	10,300	83,323	20,300	0,0017	231,000	23555,070	2371,923		282,696	

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

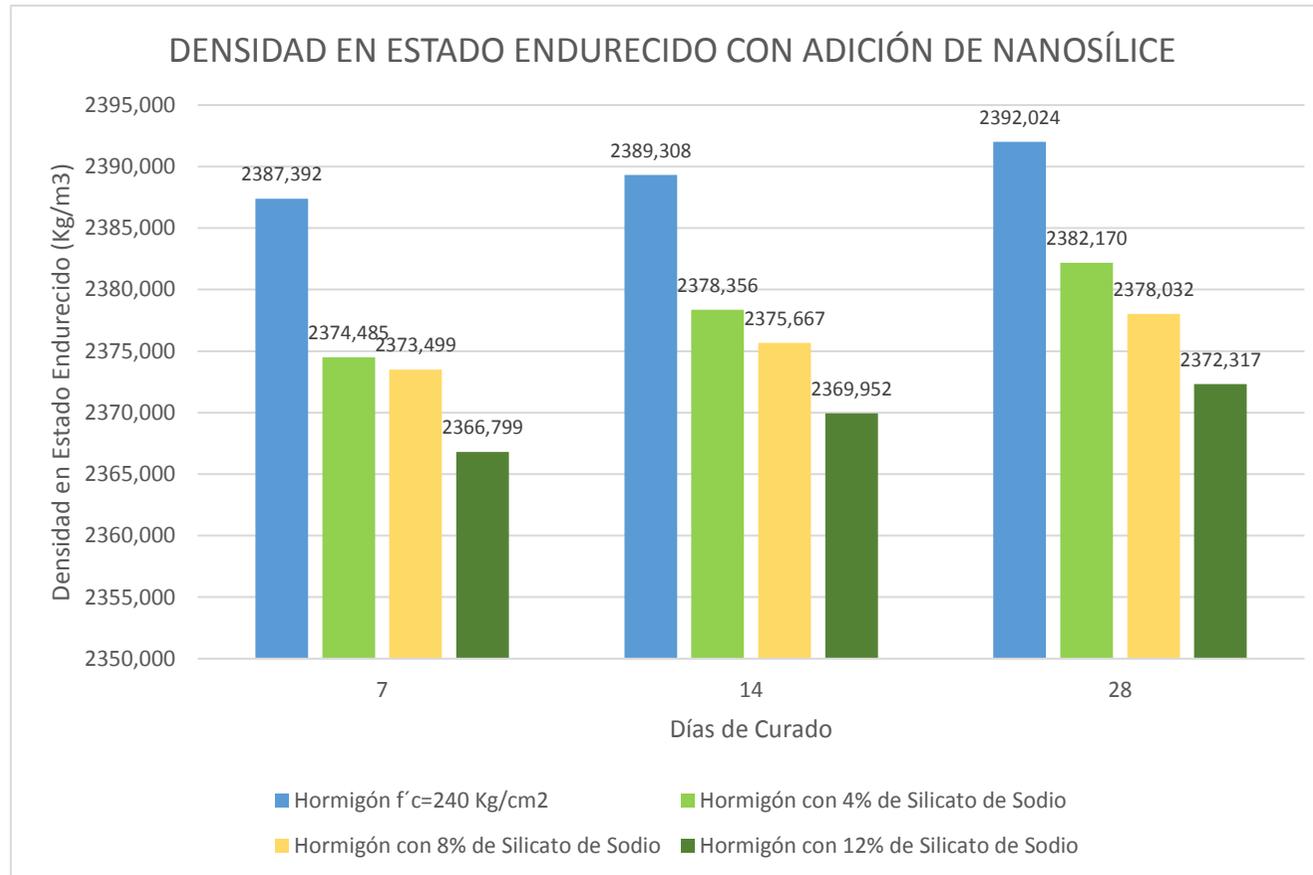
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 63, se determinó la densidad de las probetas en estado endurecido con adición de nanosílice al 5 % a los 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose un valor promedio de 2372.317 Kg/m³, el cual disminuye en un 0.824% con respecto al hormigón patrón de 2392.024 Kg/m³. Y una resistencia a la compresión promedio de 283.104 Kg/cm² mediante la norma ASTM C39, la cual se ve incrementada en un 15.282% de resistencia con respecto al hormigón patrón de 245.575 Kg/cm².

Tabla 64. Comparación de la densidad y la resistencia del hormigón con nanosílice en estado endurecido

Tipo de Hormigón		Densidad en estado endurecido (kg/m ³)			Resistencia a la compresión (kg/cm ²)		
		Días de curado			Días de curado		
		7	14	28	7	14	28
Hormigón patrón de f'c=240 kg/cm²		2387,392	2389,308	2392,024	159,706	212,458	245,575
Hormigón patrón con adición de Nanosílice	1%	2374,485	2378,356	2382,170	243,943	297,382	318,186
	3%	2373,499	2375,667	2378,032	258,220	305,948	355,308
	5%	2366,799	2369,952	2372,317	185,609	240,271	283,104

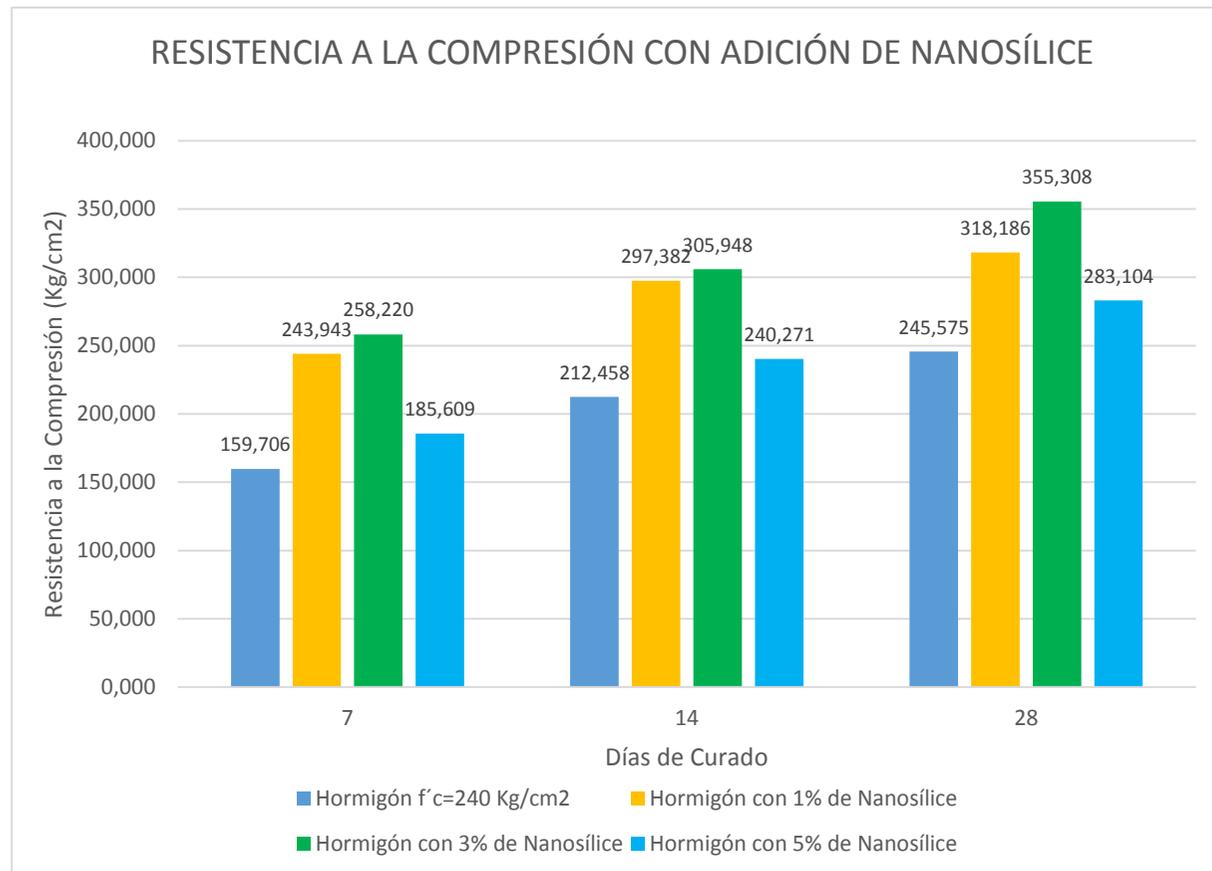
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 4. Densidad en estado endurecido con adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 5. Resistencia a la compresión con adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 64, gráfico 4 y gráfico 5, se determinó la densidad de los especímenes elaborados en estado endurecido con adición de nanosílice al 1%, 3% y 5% a los 7, 14 y 28 días de curado mediante la norma ASTM C138, obteniéndose una disminución de la densidad a los 7 días del 0.540% con la adición al 1%, una disminución del 0.580% con la adición del 3% y una disminución del 0.863% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Una disminución de la densidad a los 14 días del 0.460% con la adición al 1%, una disminución del 0.570% con la adición del 3% y una disminución del 0.810% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Una disminución de la densidad a los 28 días del 0.410% con la adición al 1%, una disminución del 0.585% con la adición del 3% y una disminución del 0.824% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Y se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados mediante la norma ASTM C39, obteniéndose un aumento de la resistencia a la compresión a los 7 días del 52.745% con la adición al 1%, un aumento del 61.685% con la adición del 3% y un aumento del 16.219% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 14 días del 39.970% con la adición al 1%, un aumento del 44.00% con la adición del 3% y un aumento del 13.091% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días del 29.570% con la adición al 1%, un aumento del 44.684% con la adición del 3% y un aumento del 15.282% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Denotándose que conforme se aumenta el porcentaje de adición de nanosílice su densidad en estado endurecido disminuye apreciablemente y aumenta significativamente su resistencia a la compresión a excepción de la adición con el 5% con la cual su aumento de resistencias es menor en comparación a los otros porcentajes de adición pero mayor al del hormigón patrón, teniendo en cuenta que mientras más denso sea el hormigón, más pequeños son sus poros, menos agua puede atravesarlo y de esto dependerá su durabilidad, debido a que el agua que pueda ingresar contenga sustancias nocivas para el hormigón.

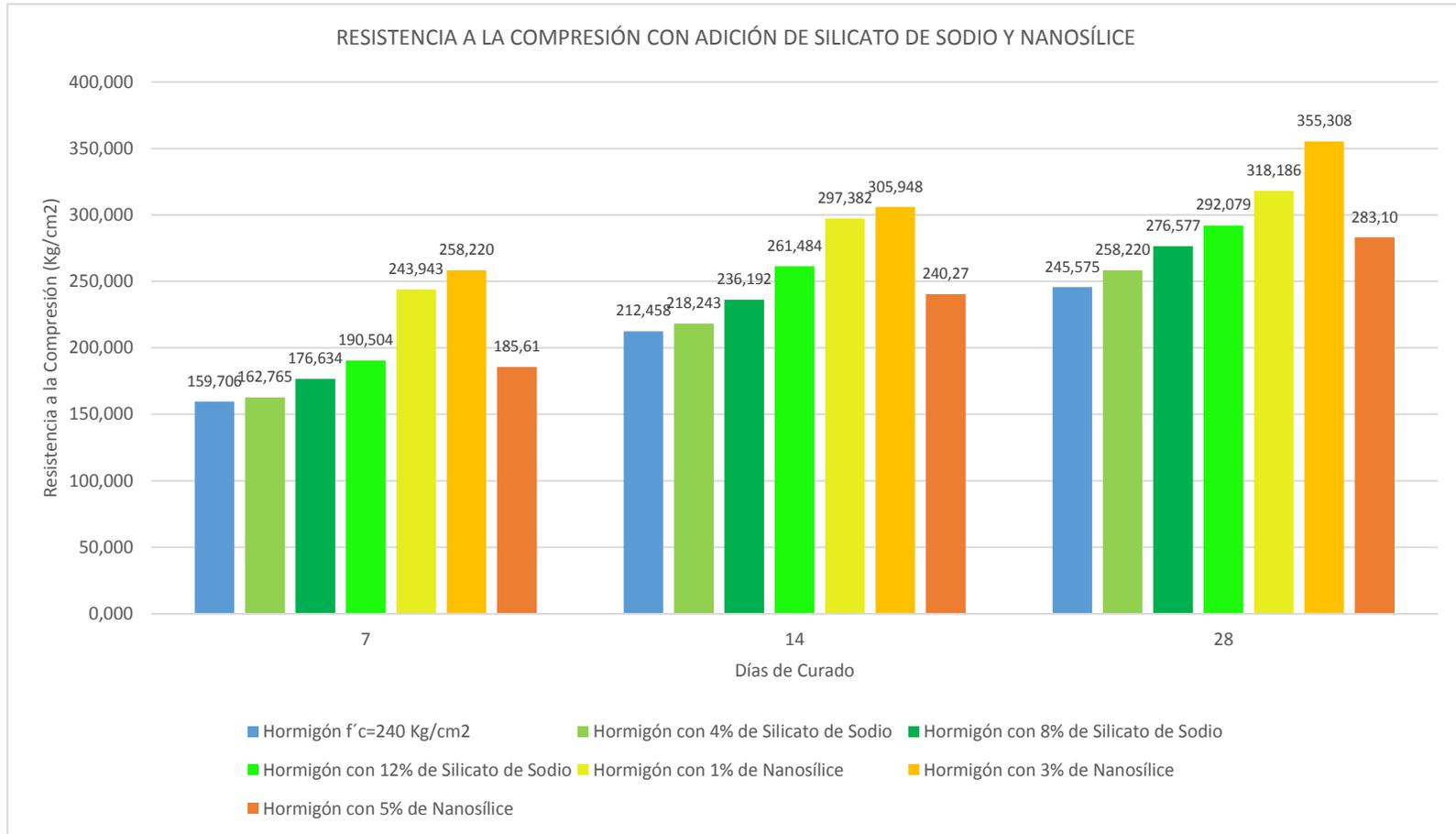
3.1.9 Resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados

Tabla 65. Resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS							
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.							
ORIGEN:	MINA SANTA ISABEL			FECHA	17/03/2020		
NORMA:	ASTM C39 - NTE INEN 1573			REALIZÓ:	JEFFERSON CAIZA		
RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS ESPECÍMENES ELABORADOS							
Altura del Molde Cilíndrico (m)		0,203					
DÍAS DE CURADO	HORMIGÓN PATRÓN DE F´C=240 KG/CM2	HORMIGÓN PATRÓN CON ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO			HORMIGÓN PATRÓN CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE		
		4%	8%	12%	1%	3%	5%
7	159,706	162,765	176,634	190,504	243,943	258,220	185,609
14	212,458	218,243	236,192	261,484	297,382	305,948	240,271
28	245,575	258,220	276,577	292,079	318,186	355,308	283,104

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 6. Resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio y nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 65 y al gráfico 6, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados mediante la norma ASTM C39, obteniéndose con el silicato de sodio un aumento de la resistencia a la compresión a los 7 días del 1.915% con la adición al 4%, un aumento del 10.599% con la adición del 8% y un aumento del 19.284% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 14 días del 2.723% con la adición al 4%, un aumento del 11.171% con la adición del 8% y un aumento del 23.076% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días del 5.149% con la adición al 4%, un aumento del 12.624% con la adición del 8% y un aumento del 18.937% con la adición del 12% de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón.

Mientras que con la adición de nanosílice se dio un aumento de la resistencia a la compresión a los 7 días del 52.745% con la adición al 1%, un aumento del 61.685% con la adición del 3% y un aumento del 16.219% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 14 días del 39.970% con la adición al 1%, un aumento del 44.00% con la adición del 3% y un aumento del 13.091% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón. Un aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días del 29.570% con la adición al 1%, un aumento del 44.684% con la adición del 3% y un aumento del 15.282% con la adición del 5% de nanosílice con respecto al hormigón patrón.

3.1.10 Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm² con la ecuación de predicción y la resistencia relativa esperada

Tabla 66. Resistencia esperada mediante la ecuación de predicción a partir de los 7 días y su resistencia relativa

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS				
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.				
RESISTENCIA ESPERADA MEDIANTE LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN Y LA RESISTENCIA RELATIVA				
Datos:	t_0 :	3,3	k :	5,2
Días de curado	Resistencia a la compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm ²	Resistencia a la compresión mediante la Ecuación de Predicción a partir de los 7 días	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	159,706 kg/cm ²	159,706 kg/cm ²	65% $f'c$	159,624 kg/cm ²
14	212,458 kg/cm ²	202,388 kg/cm ²	90% $f'c$	221,018 kg/cm ²
28	245,575 kg/cm ²	238,103 kg/cm ²	100% $f'c$	245,575 kg/cm ²
NOMENCLATURA				
t_0 :	Tiempo inicial determinado para predicción de hormigón sin aditivo			
k :	Constante determinada para predicción de hormigón sin aditivo			

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

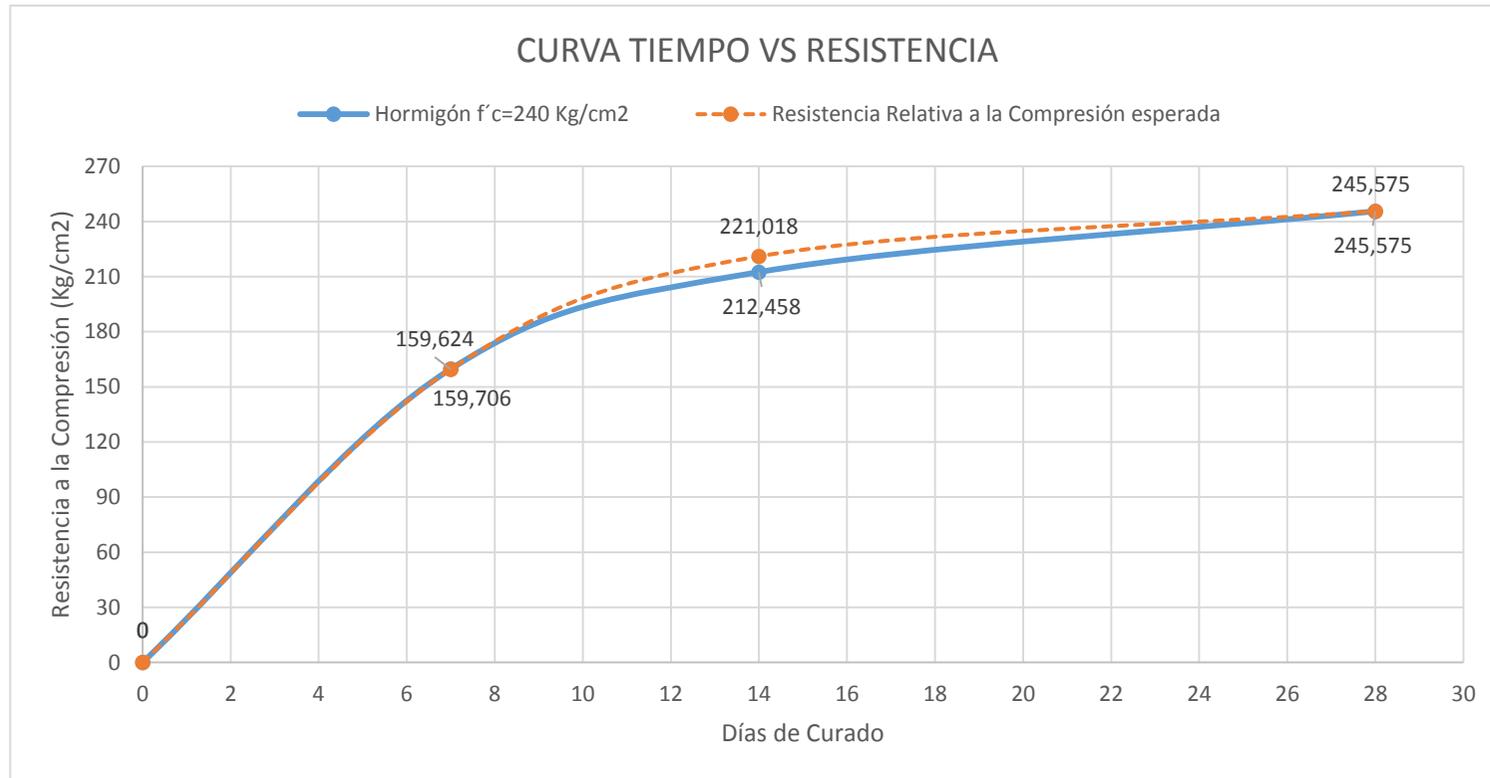
Gráfico 7. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón patrón y la ecuación de predicción



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 66 y el gráfico 7, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón patrón mediante la norma ASTM C138 y mediante la ecuación de predicción las resistencias esperadas a edades avanzadas (28 días) a partir de los 7 días, obteniéndose así un valor esperado de 238.103 Kg/cm² a los 28 días y un valor de 202.388 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 28 días fueron de 245.575 Kg/cm² y a los 14 días de 212.458 Kg/cm². Denotándose así que con la ecuación de predicción se obtuvo un valor menor del 4.74% para los 14 días y del 3.04% para los 28 días con respecto a los valores reales obtenidos del hormigón patrón.

Gráfico 8. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón patrón y la resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 66 y el gráfico 8, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón patrón mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 159.624 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 221.018 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 159.706 Kg/cm² y a los 14 días de 212.458 Kg/cm². Denotándose así que con la resistencia relativa a la compresión esperada se obtuvo un valor menor del 0.05% para los 7 días y un valor mayor del 4.03% para los 14 días con respecto a los valores reales obtenidos del hormigón patrón.

Tomando en cuenta que la ecuación de predicción se la obtiene a partir de la resistencia en fase temprana a los 7 días y la resistencia relativa a la compresión esperada con los porcentajes de dureza del hormigón tomando como referencia la resistencia a los 28 días, se determina que los dos métodos son efectivos pero con el que se dio una apreciación más certera de la evolución de la resistencia a la compresión del hormigón es con la resistencia relativa de los porcentajes de dureza.

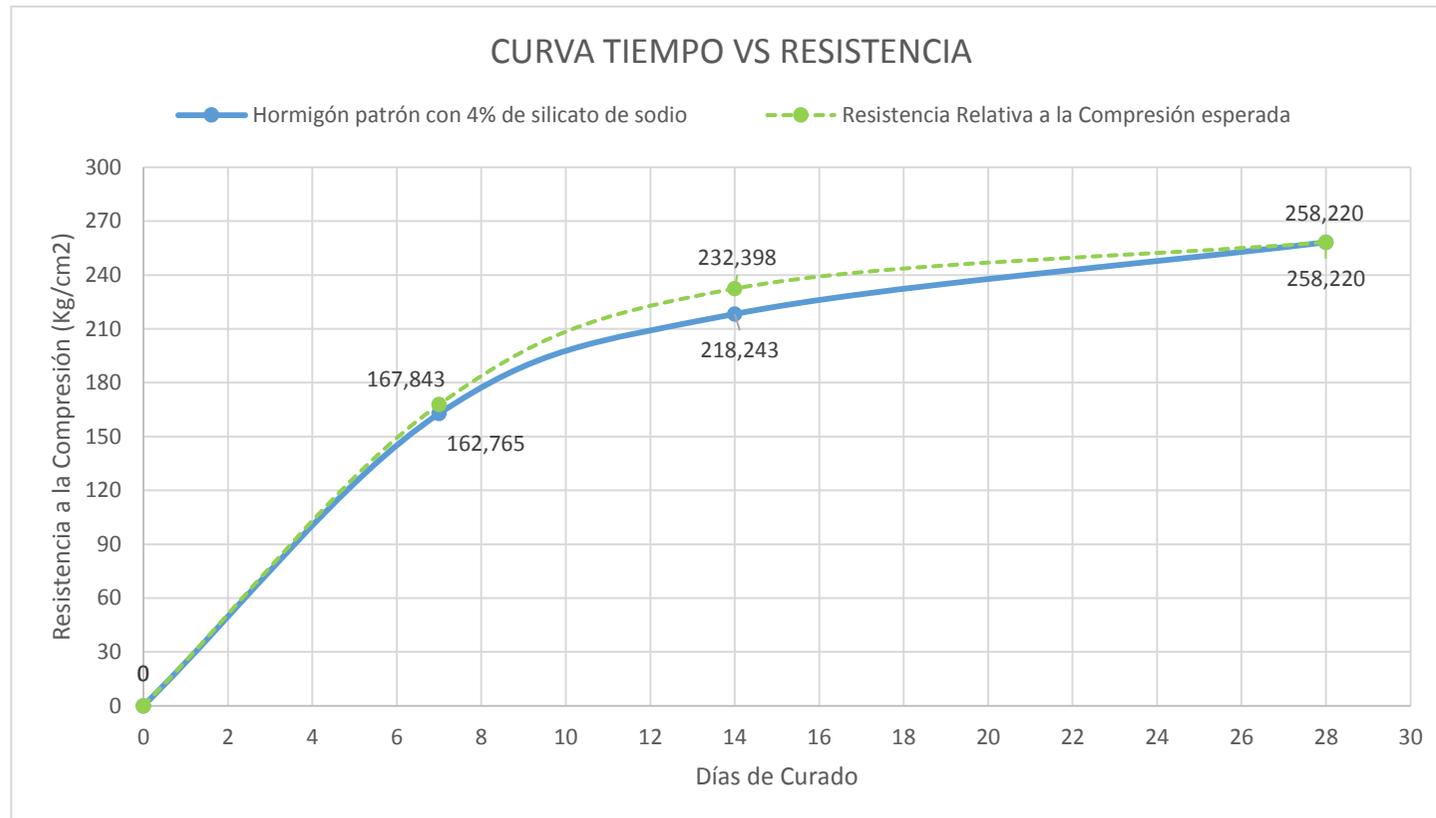
3.1.11 Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón $f'c=240$ kg/cm² con adición de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada

Tabla 67. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 4% DE SILICATO DE SODIO Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 4% de silicato de sodio	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	162,765 kg/cm ²	65% $f'c$	167,843 kg/cm ²
14	218,243 kg/cm ²	90% $f'c$	232,398 kg/cm ²
28	258,220 kg/cm ²	100% $f'c$	258,220 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 9. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 4% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

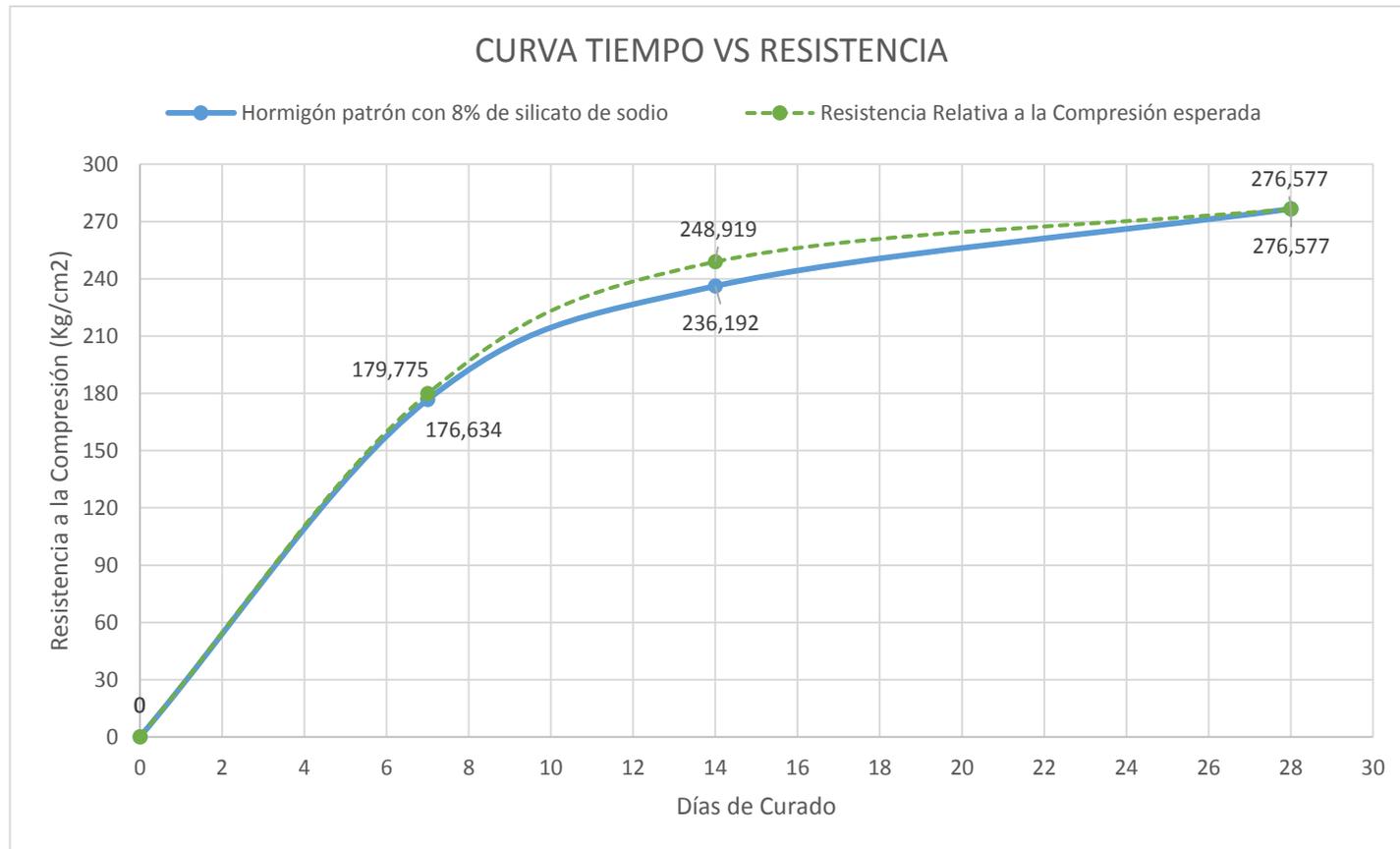
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 67 y el gráfico 9, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón con el 4% de silicato de sodio mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, con la cual se obtuvo un valor de 167,843 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 232.398 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 162,765 Kg/cm² y a los 14 días de 218,243 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo una disminución del 3.12% para los 7 días y una disminución del 6.49% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

Tabla 68. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.</p>			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 8% DE SILICATO DE SODIO Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 8% de silicato de sodio	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	176,634 kg/cm ²	65% $f'c$	179,775 kg/cm ²
14	236,192 kg/cm ²	90% $f'c$	248,919 kg/cm ²
28	276,577 kg/cm ²	100% $f'c$	276,577 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 10. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 8% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egado. Jefferson Caiza

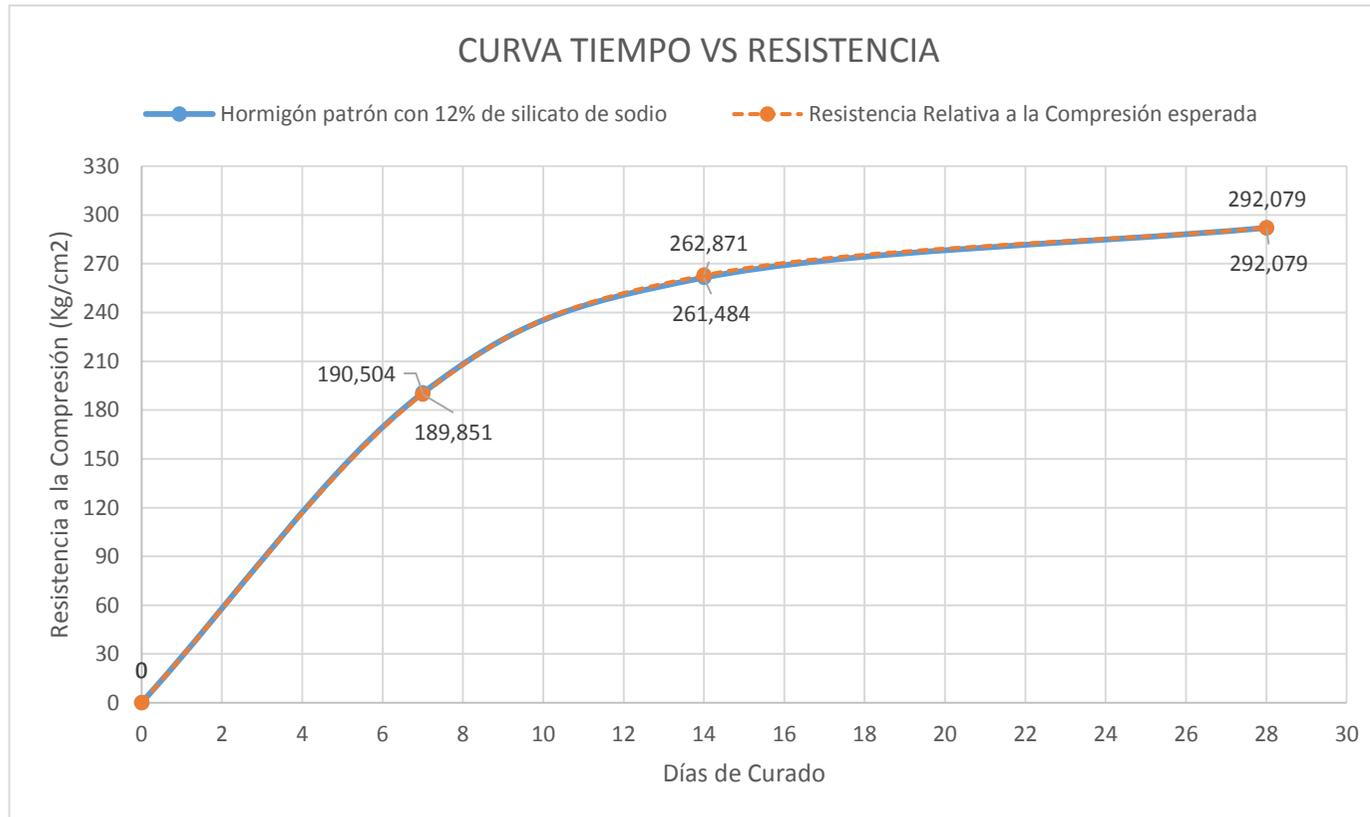
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 68 y el gráfico 10, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón con el 8% de silicato de sodio mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 179,775 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 248.919 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 176,634 Kg/cm² y a los 14 días de 236,192 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo una disminución del 1.78% para los 7 días y una disminución del 5.39% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

Tabla 69. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 12% DE SILICATO DE SODIO Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 12% de silicato de sodio	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	190,504 kg/cm ²	65% $f'c$	189,851 kg/cm ²
14	261,484 kg/cm ²	90% $f'c$	262,871 kg/cm ²
28	292,079 kg/cm ²	100% $f'c$	292,079 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 11. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 12% de silicato de sodio y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

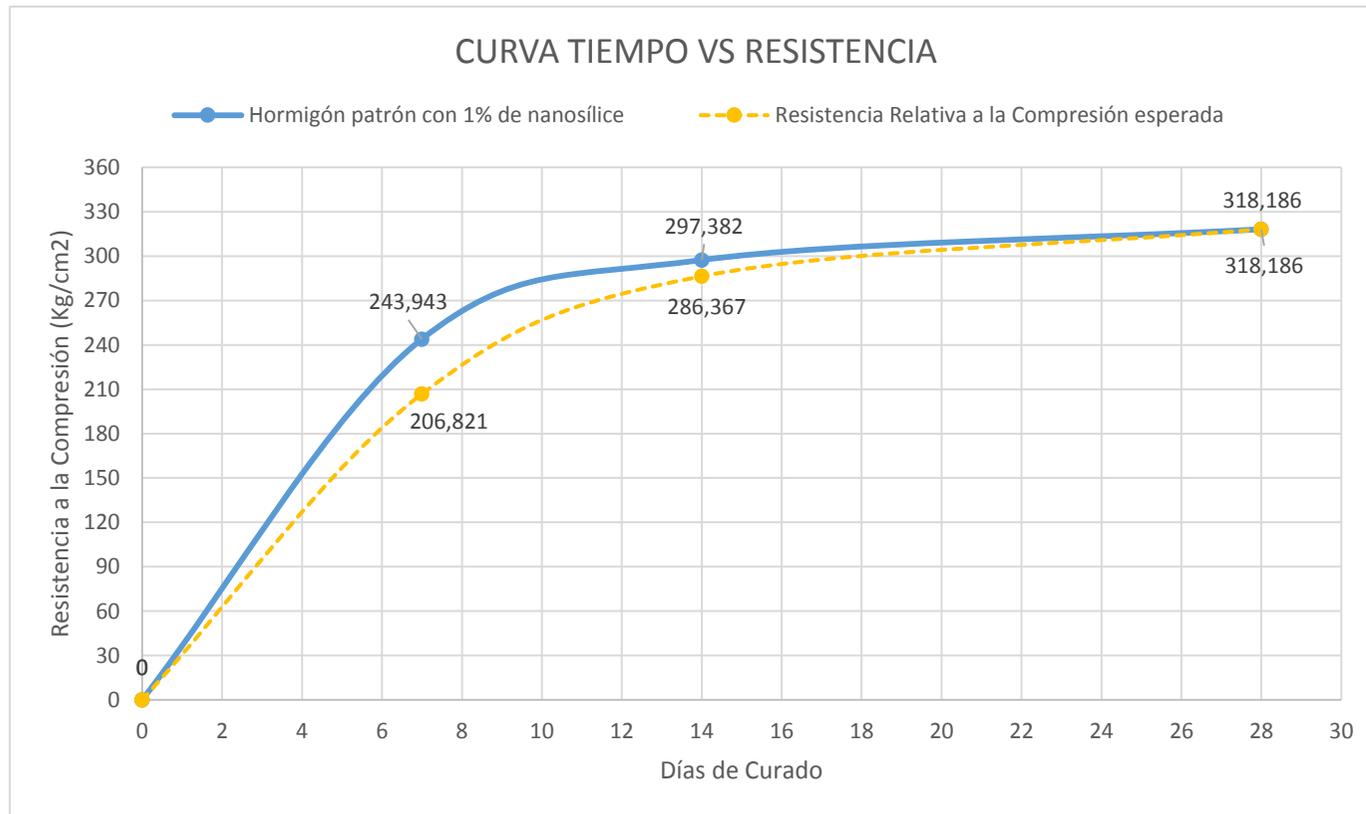
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 69 y el gráfico 11, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón con el 12% de silicato de sodio mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 189,851 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 262.871 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 190,504 Kg/cm² y a los 14 días de 261,484 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo un aumento del 0.34% para los 7 días y una disminución del 0.53% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

Tabla 70. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 1% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 1% DE NANOSÍLICE Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 1% de nanosílice	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	243,943 kg/cm ²	65% $f'c$	206,821 kg/cm ²
14	297,382 kg/cm ²	90% $f'c$	286,367 kg/cm ²
28	318,186 kg/cm ²	100% $f'c$	318,186 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 12. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 1% de nanosílice y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

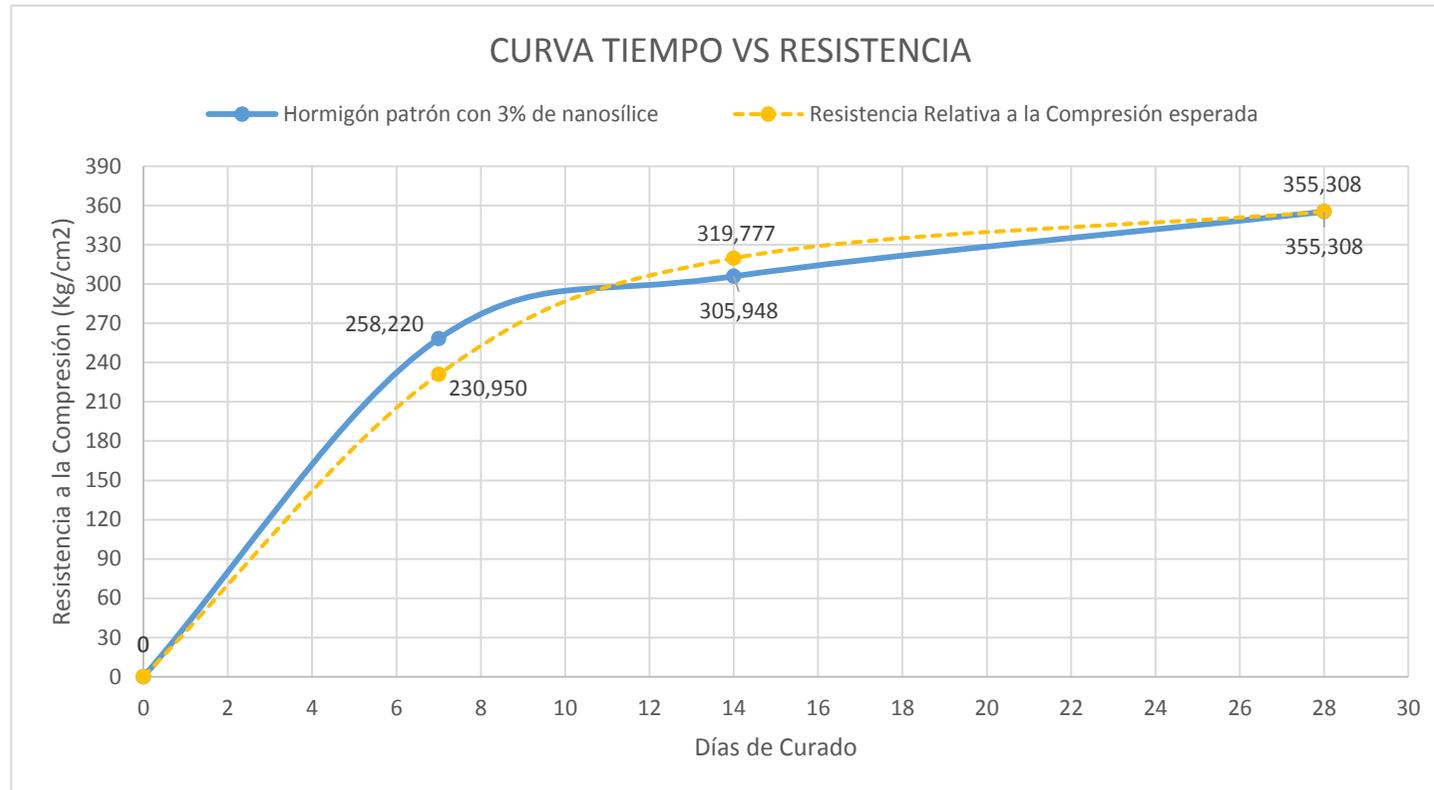
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 70 y el gráfico 12, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón con el 1% de nanosílice mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 206,821 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 286.367 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 243,943 Kg/cm² y a los 14 días de 297.382 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo un aumento del 15.22% para los 7 días y un aumento del 3.70% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

Tabla 71. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 3% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE NANOSÍLICE Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 3% de nanosílice	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	258,220 kg/cm ²	65% $f'c$	230,950 kg/cm ²
14	305,948 kg/cm ²	90% $f'c$	319,777 kg/cm ²
28	355,308 kg/cm ²	100% $f'c$	355,308 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 13. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 3% de nanosílice y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

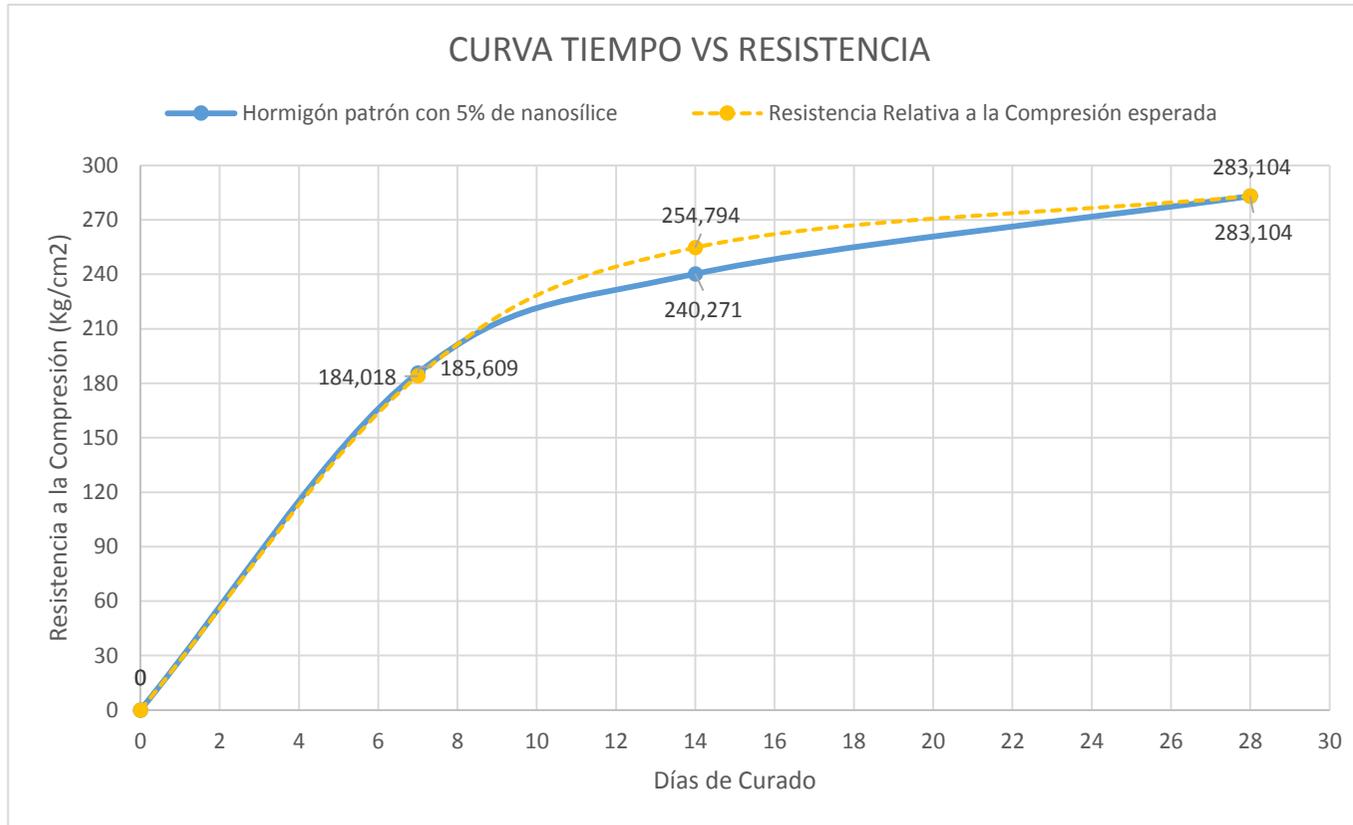
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 71 y el gráfico 13, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón con el 3% de nanosílice mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 230,950 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 319.777 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 258,220 Kg/cm² y a los 14 días de 305.948 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo un aumento del 10.56% para los 7 días y una disminución del 4.52% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

Tabla 72. Comparación de la resistencia a la compresión del hormigón con 5% de adición de nanosílice y su resistencia relativa a la compresión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS			
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240$ KG/CM² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.			
COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON 5% DE NANOSÍLICE Y SU RESISTENCIA RELATIVA			
Días de curado	Hormigón patrón con 5% de nanosílice	Resistencia Relativa a la Compresión esperada	
7	185,609 kg/cm ²	65% $f'c$	184,018 kg/cm ²
14	240,271 kg/cm ²	90% $f'c$	254,794 kg/cm ²
28	283,104 kg/cm ²	100% $f'c$	283,104 kg/cm ²

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 14. Curva tiempo-resistencia del hormigón con 5% de nanosílice y su resistencia relativa esperada



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 72 y el gráfico 14, se determinó la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados para el hormigón patrón mediante la norma ASTM C138 y la resistencia relativa a la compresión esperada, obteniéndose así un valor de 159.624 Kg/cm² a los 7 días y un valor de 221.018 Kg/cm² a los 14 días. Mientras que los valores reales obtenidos a los 7 días fueron de 159.706 Kg/cm² y a los 14 días de 212.458 Kg/cm². Denotándose así que con los valores reales obtenidos hubo un aumento del 0.05% para los 7 días y una disminución del 4.03% para los 14 días con respecto a los valores esperados mediante la resistencia relativa.

A través de la experiencia y la observación que conlleva todo proceso de investigación, se pretende mediante el análisis de los resultados realizados anteriormente generar una ecuación de predicción para cada una de las dosificaciones realizadas con cada tipo de adición de silicato de sodio y nanosílice, con el fin de tener una apreciación más exacta de en qué medida aumenta o disminuye la resistencia a la compresión desde edades tempranas a edades avanzadas debido a que con el uso de las resistencias relativas en el hormigón normal no existe mucha diferencia con respecto a sus valores reales obtenidos pero con la aplicación de estas adiciones de silicato de sodio y nanosílice varía de diferente manera. Por lo cual inicialmente basándose en la norma ASTM C 918 para la medición de la resistencia a la compresión del hormigón de edades tempranas y proyección a edades avanzadas, esta estipula que para utilizar la ecuación planteada a continuación, se debe calcular algunas variables iniciales tales como:

$$S_M = S_M + b (\log M - \log m)$$

S_M = Resistencia proyectada al índice de madurez

S_m = Resistencia de compresión medida al índice de madurez

b = Pendiente de la línea

M = índice de madurez bajo condiciones de curado

m = índice de madurez del espécimen ensayado en fase temprana.

Girando todo al índice de madurez el cual es la relación entre la temperatura de curado del hormigón, el tiempo y el aumento de la resistencia que presenta. La cual para ser determinada primero se debe monitorear la temperatura de curado de los especímenes

representativos durante su período de curado, luego estos especímenes se ensayan a una edad temprana de 24h o más y una vez obtenido el historial de temperatura del hormigón se utiliza para calcular el índice de madurez a la edad del ensayo [44].

Debido a estas limitaciones y tomando en cuenta que se ha cumplido con todos los parámetros establecidos bajo condiciones de curado estándar mediante la norma ASTM C192 se considera a la temperatura constante para todos los días de curado, por lo cual se optó por utilizar otra ecuación dada en un estudio similar realizado por Fernando Sánchez y Robinson Tapia de la Universidad Privada Antenor Orrego en la cual se hace uso de la ecuación potencial basado únicamente en parámetros tales como la resistencia a la compresión en fase temprana (**R**) y el día de curado del ensayo del mismo (**T**), mediante las resistencias obtenidas en porcentajes de cada uno de los especímenes, obteniendo así resultados favorables [45]. La ecuación se detalla a continuación.

$$\text{Ecuación Potencial} \gg Y = A * X^B$$

$$\text{Ecuación Potencial de Predicción} \gg R_{28} = R / (A * T^B)$$

Donde:

A, B = Valores de la función potencial, base y exponente.

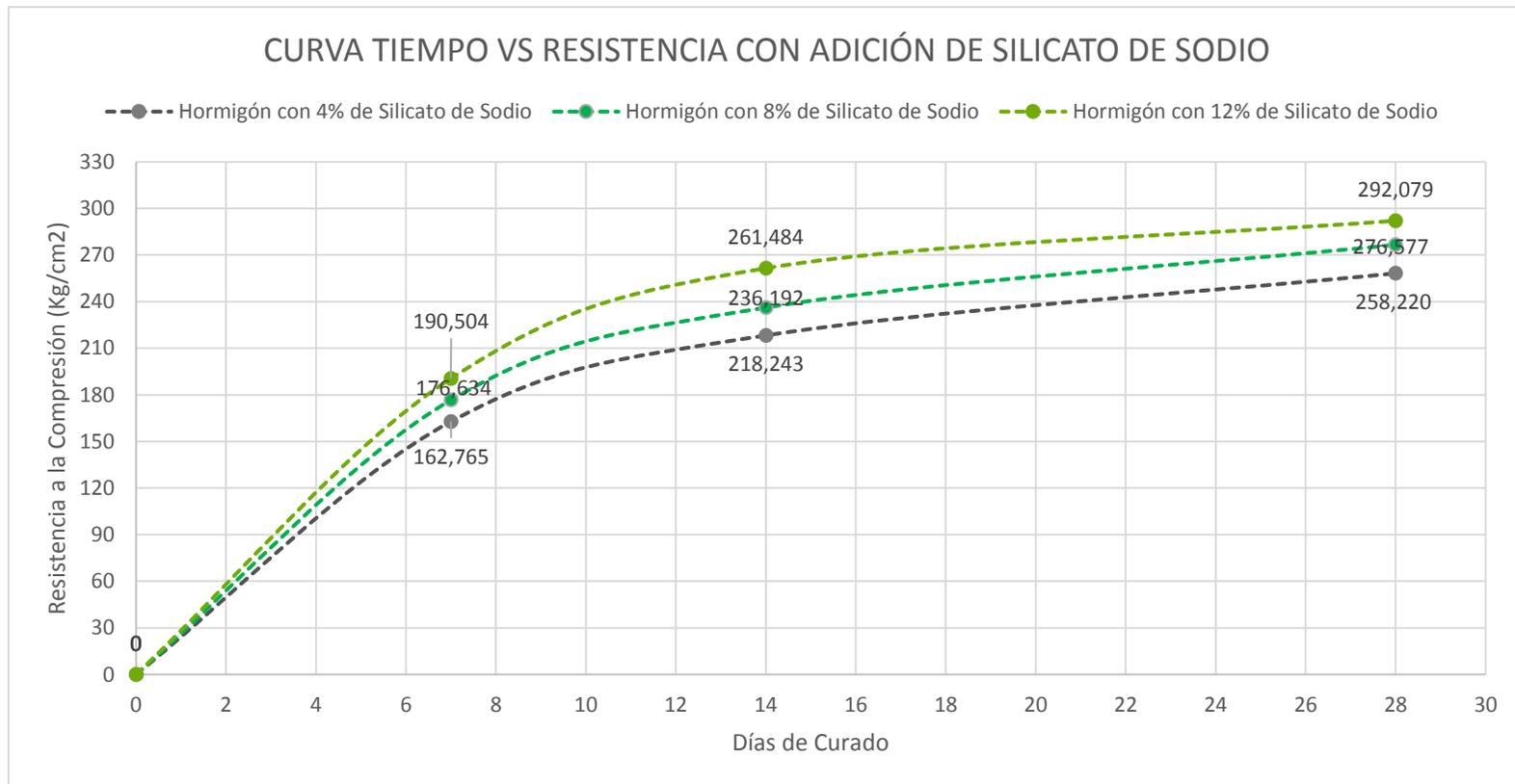
R = Resistencia en fase temprana obtenida a los T días de edad.

T = Edad en días del hormigón.

R₂₈ = Resistencia esperada a los 28 días de edad.

3.1.12 Determinación de la ecuación de predicción con adición de silicato de sodio

Gráfico 15. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 73. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 4% de adición silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	162,765	63,03%
14	218,243	84,52%
28	258,220	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

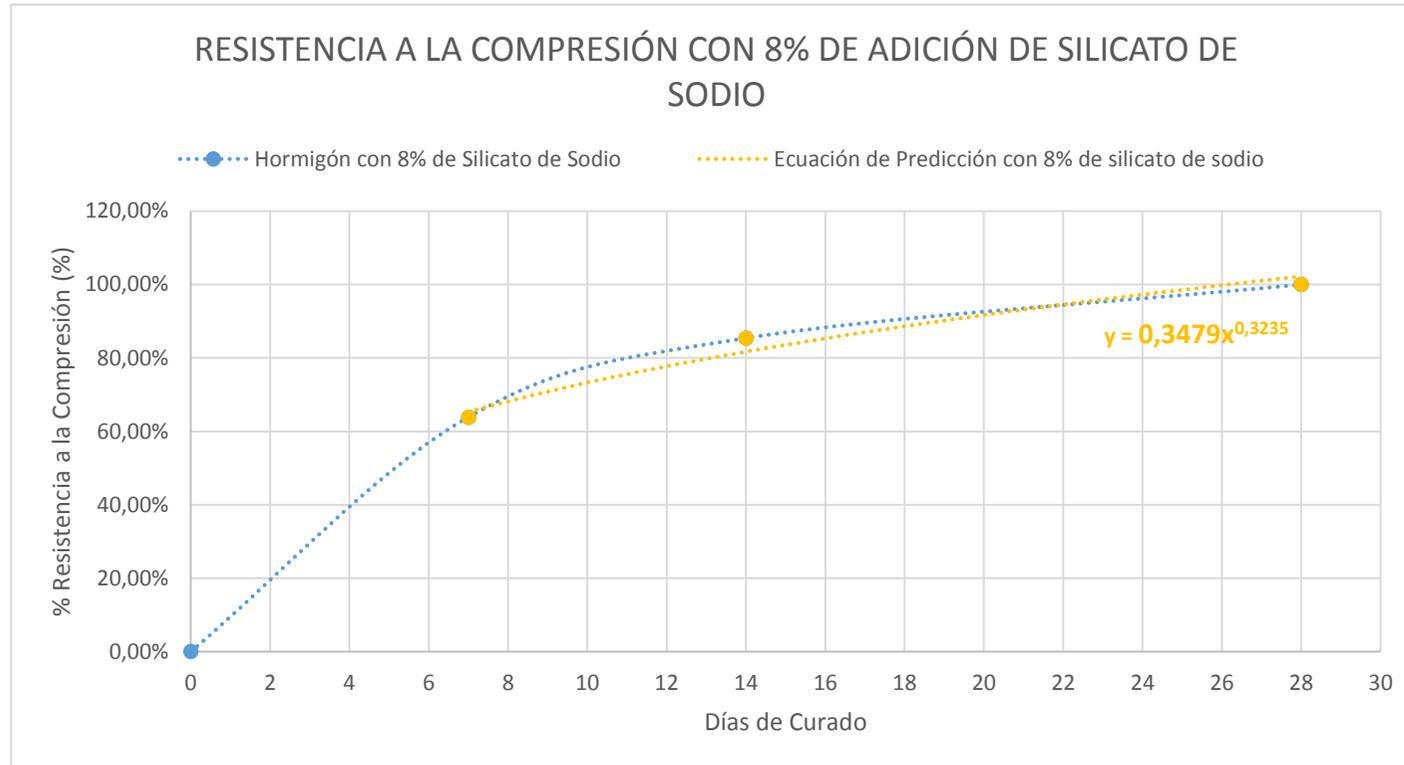
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 73 y el gráfico 16 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de silicato de sodio al 4% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 4 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Cuyas variables son la resistencia a edades tempranas (R) y el tiempo de curado de ensaye a edades tempranas (T). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 252.921 kg/cm^2 , denotándose así un margen de error de apenas el 2.05 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

Tabla 74. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 8% de adición silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	176,634	63,86%
14	236,192	85,40%
28	276,577	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 17. Determinación de la Ecuación de Predicción con 8% de adición de silicato de sodio



ECUACIÓN: $R_{28} = R / (0.3479 T^{0.3235})$

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

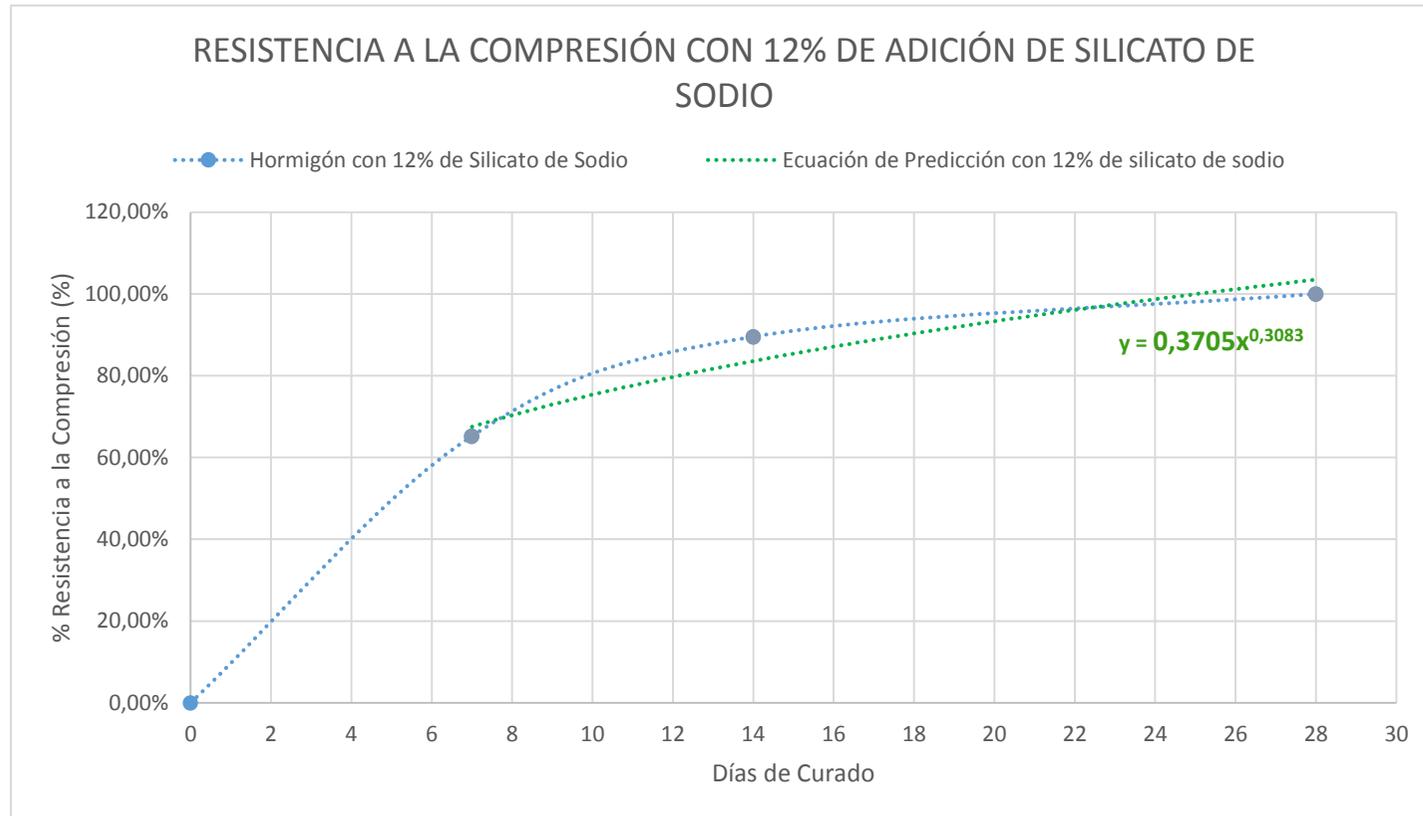
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 74 y el gráfico 17 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de silicato de sodio al 8% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 5 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 270.539 kg/cm^2 , denotándose así un margen de error de apenas el 2.18 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

Tabla 75. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 12% de adición silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO		
<p>ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VÍA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.</p>		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	190,504	65,22%
14	261,484	89,53%
28	292,079	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 18. Determinación de la Ecuación de Predicción con 12% de adición de silicato de sodio



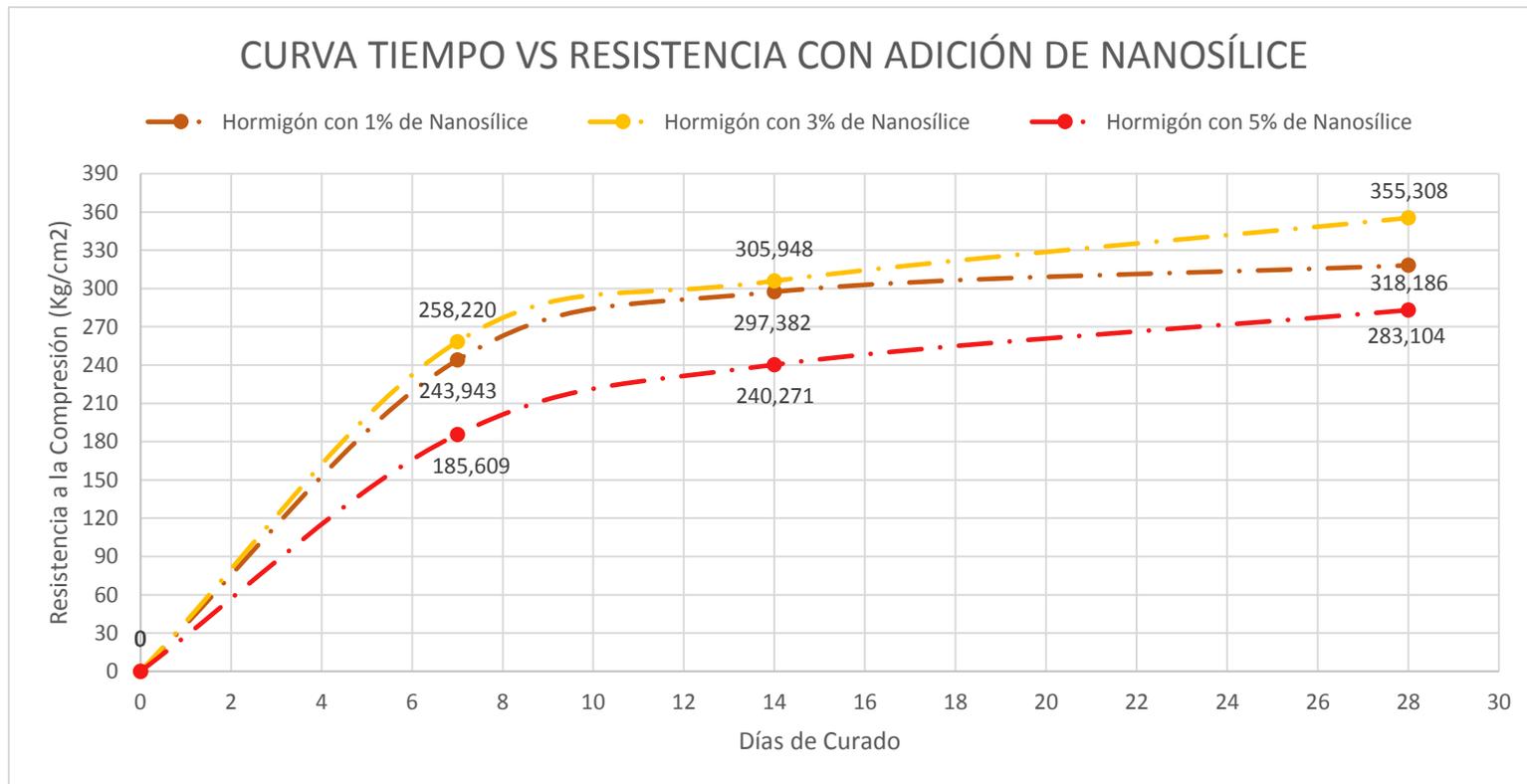
ECUACIÓN: $R_{28} = R / (0.3705 T^{0.3083})$

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 75 y el gráfico 18 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de silicato de sodio al 12% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 6 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 282.209 kg/cm², denotándose así un margen de error pequeño de 3.38 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

3.1.13 Determinación de la ecuación de predicción con adición de nanosílice

Gráfico 19. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de nanosílice



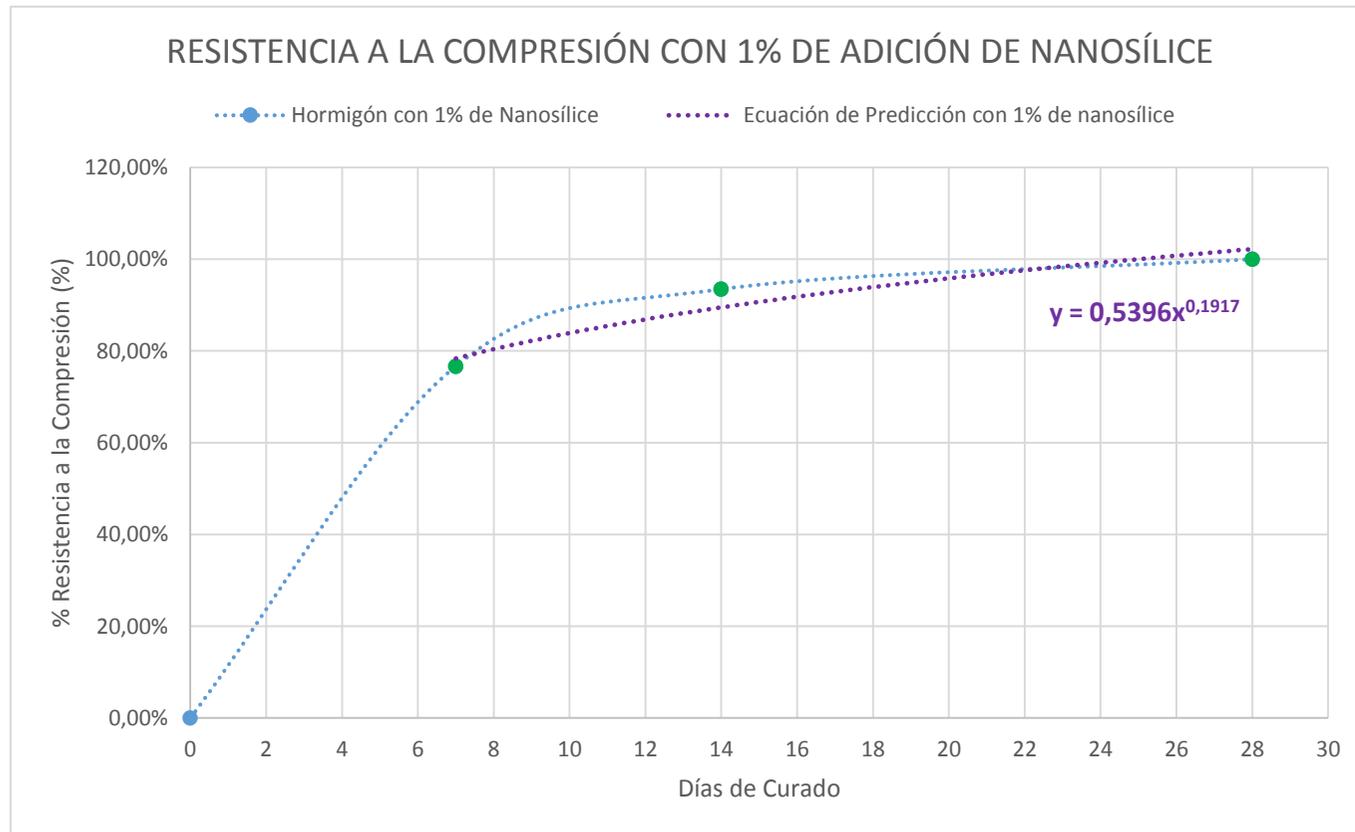
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 76. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 1% de adición nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F' C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	243,943	76,67%
14	297,382	93,46%
28	318,186	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 20. Determinación de la Ecuación de Predicción con 1% de adición de nanosílice



ECUACIÓN: $R_{28} = R / (0.5396 T^{0.1917})$

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

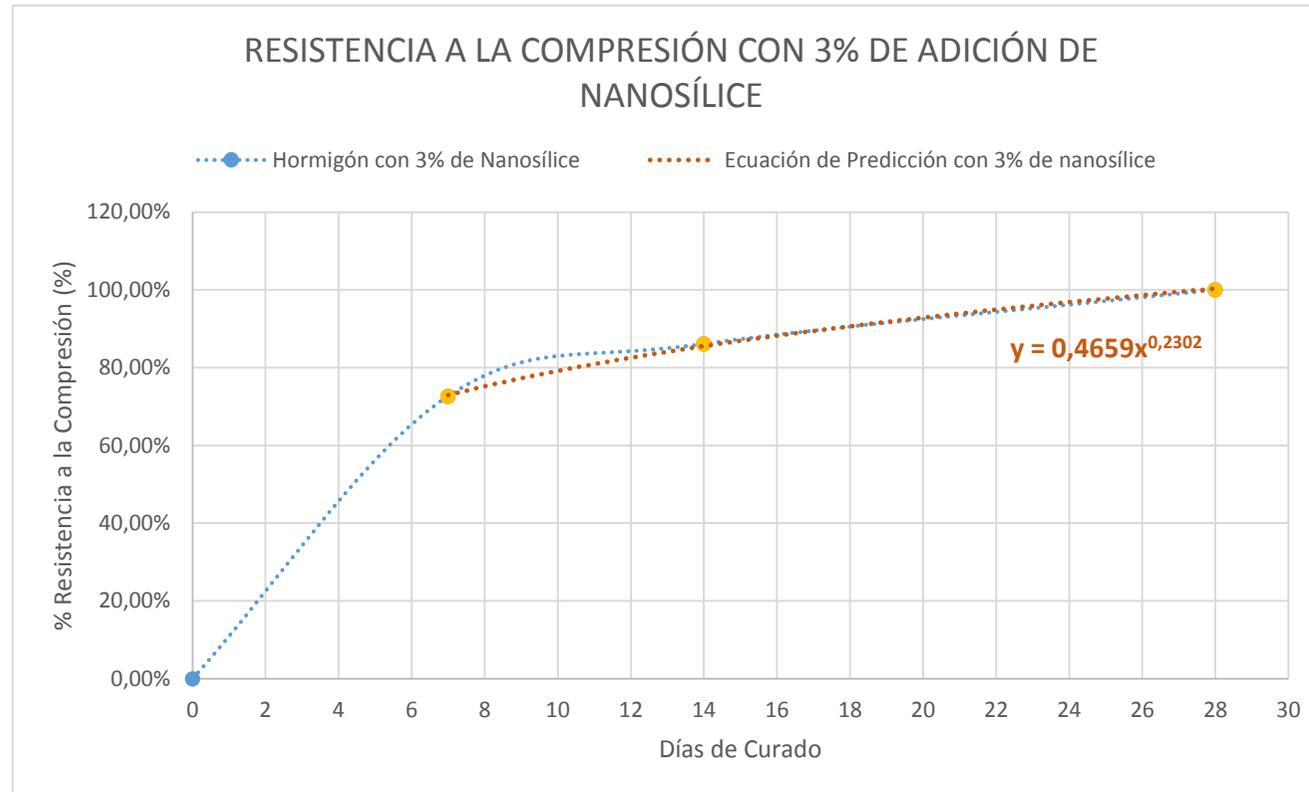
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 76 y el gráfico 20 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de nanosílice al 1% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 8 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Cuyas variables son la resistencia a edades tempranas (R) y el tiempo de curado de ensaye a edades tempranas (T). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 311.323 kg/cm^2 , denotándose así un margen de error de apenas el 2.16 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

Tabla 77. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 3% de adición nanosílíce

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	258,22	72,67%
14	305,948	86,11%
28	355,308	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 21. Determinación de la Ecuación de Predicción con 3% de adición de nanosílice



ECUACIÓN: $R_{28} = R / (0.4659 T^{0.2302})$

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

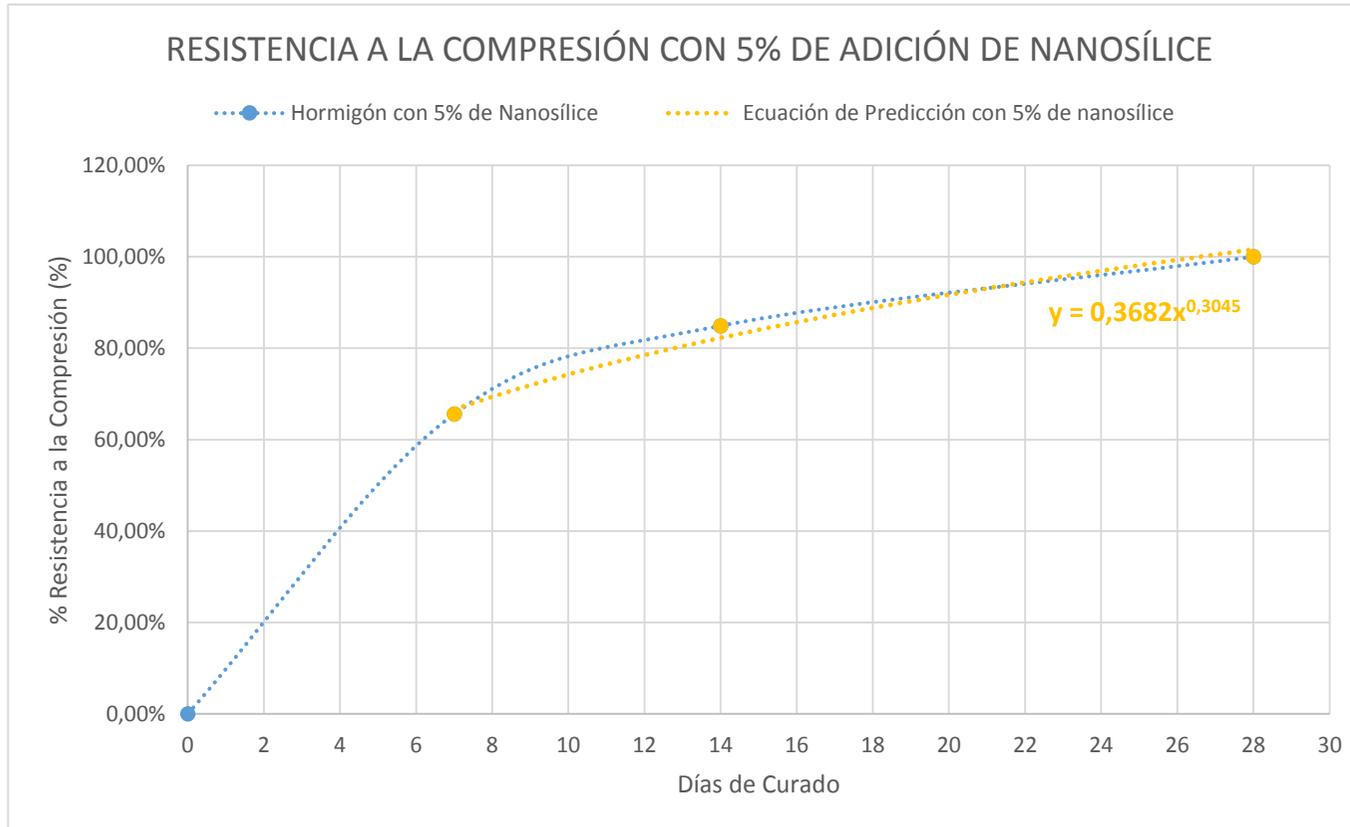
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 77 y el gráfico 21 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de nanosílice al 3% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 9 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 354.539 kg/cm^2 , denotándose así un margen de error de apenas el 0.33 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

Tabla 78. Porcentaje de la resistencia a la compresión con 5% de adición nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE		
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.		
PORCENTAJE DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
Días de curado	Resistencia a la Compresión Promedio (kg/cm2)	% Resistencia
7	185,609	65,56%
14	240,271	84,87%
28	283,104	100,00%

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 22. Determinación de la Ecuación de Predicción con 5% de adición de nanosílice



ECUACIÓN: $R_{28} = R / (0.3682 T^{0.3045})$

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 78 y el gráfico 22 se determinó la resistencia a la compresión en porcentaje obtenida de la adición de nanosílice al 5% a los 7, 14 y 28 días, que mediante la gráfica 10 se logró determinar una ecuación potencial de predicción basado en la tendencia de progresión de la resistencia conforme aumentan los días de curado a partir de los 7 días para proceder a proyectarla a edades avanzadas (28 días). Esta ecuación al ser utilizada con la resistencia real obtenida a partir de los 7 días presenta una resistencia de predicción con un valor de 278.729 kg/cm^2 , denotándose así un margen de error de apenas 1.54 % de la resistencia real esperada a los 28 días. Teniendo en cuenta que la ecuación de predicción se realizó con los resultados de la resistencia a la compresión obtenidos a los 7, 14 y 28 días por lo cual esta tiende a estar netamente en este rango para obtenerse valores más certeros.

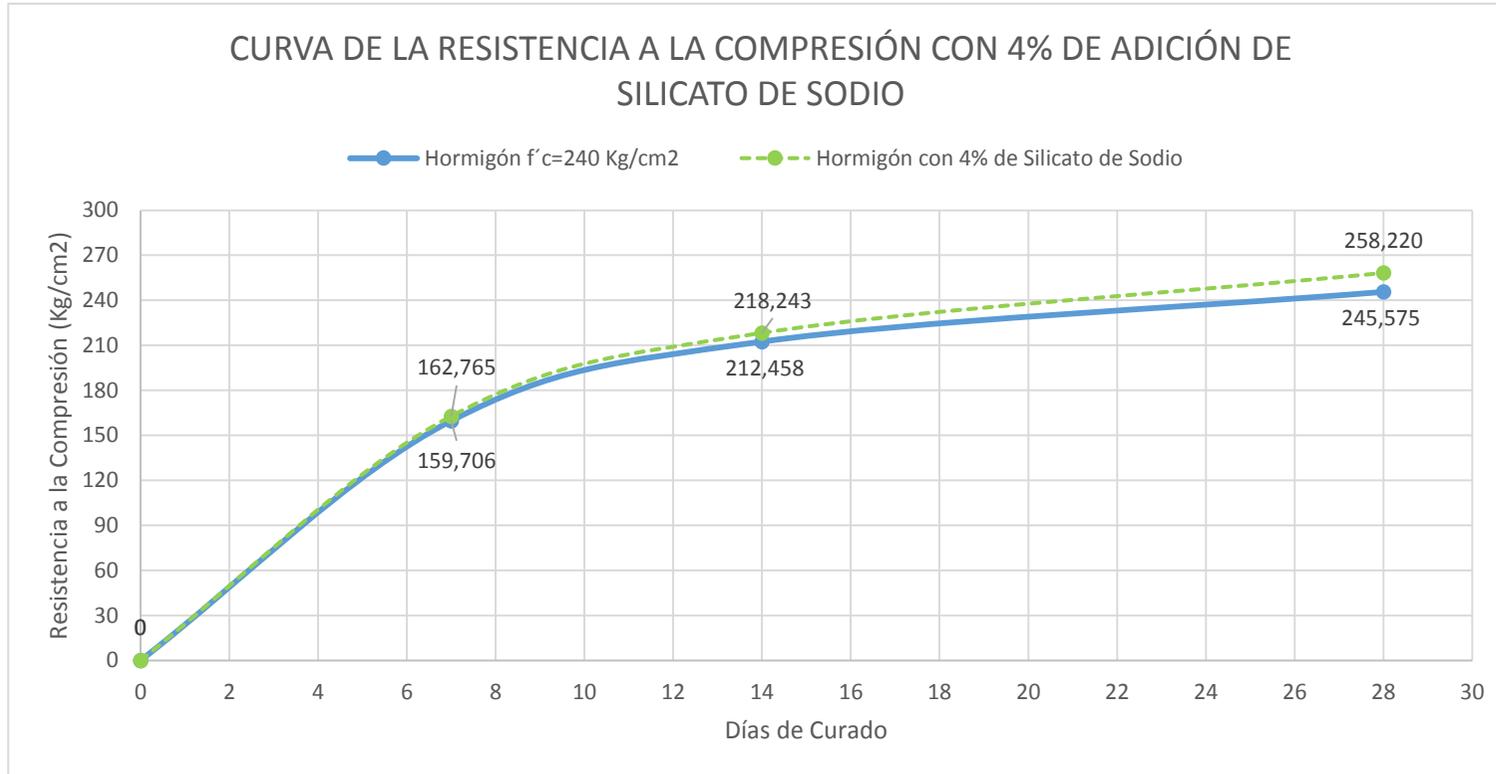
3.1.14 Comparación de las dosificaciones realizadas mediante las variables escogidas

Tabla 79. Comparación del hormigón con 4% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 4% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EIDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 4% DE SILICATO DE SODIO	162,765	218,243	258,22	6,50	Media	Muy buena

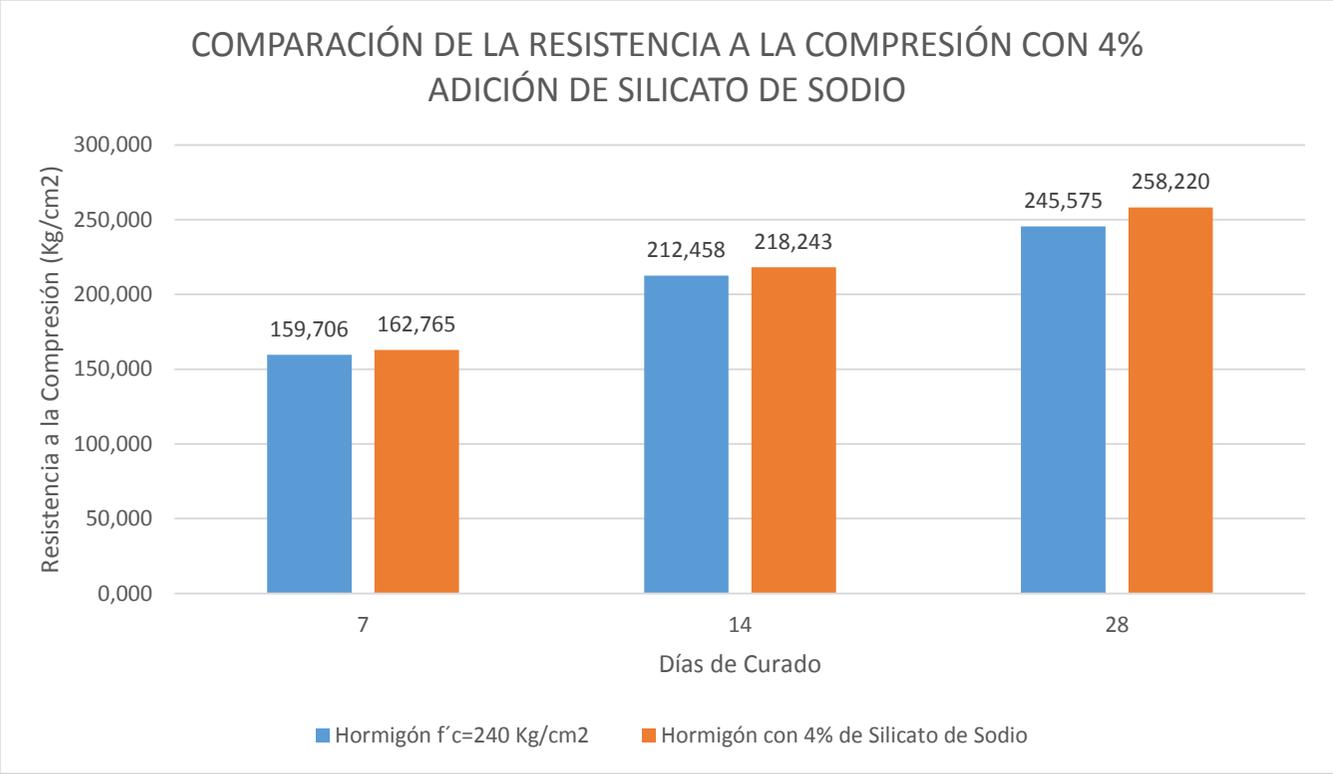
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 23. Curva de resistencia a la compresión con 4% de adición de silicato de sodio



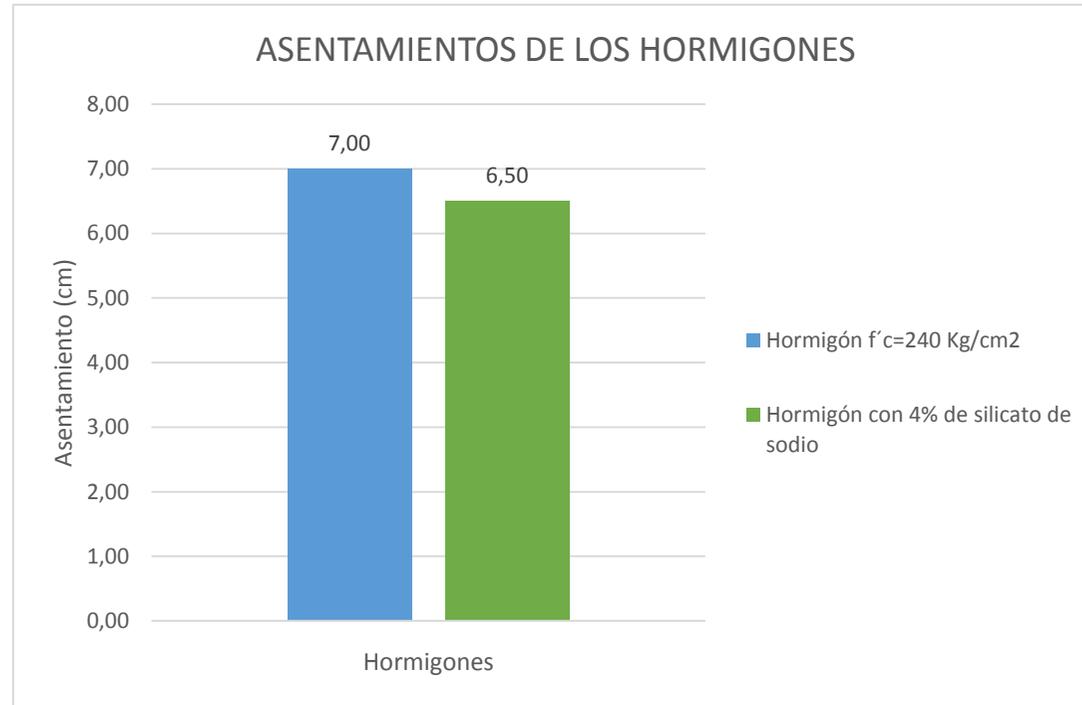
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 24. Comparación de la resistencia a la compresión con 4% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 25. Comparación del asentamiento con 4% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

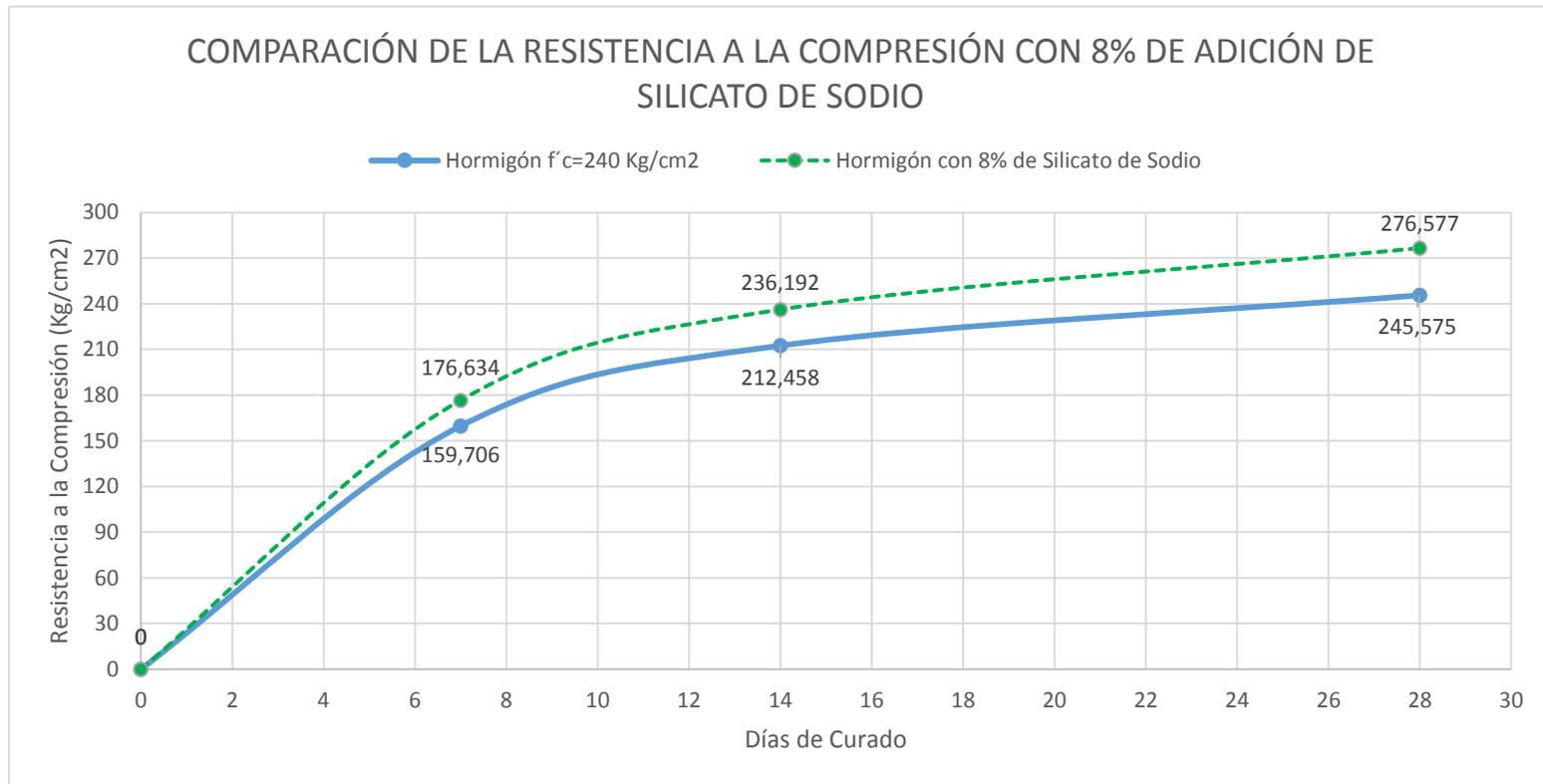
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 79, gráfico 23, 24 y 25 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 4% de silicato de sodio en comparación con el hormigón patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 1.92 %, a los 14 días del 2.72 % y a los 28 días del 5.15 %. Además el hormigón con el 4% de silicato de sodio presenta una disminución del asentamiento del 7.14 % con respecto al asentamiento inicial, sin embargo aún presenta una consistencia media que está entre 5 y 10 cm con una muy buena trabajabilidad.

Tabla 80. Comparación del hormigón con 8% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 8% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EIDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 8% DE SILICATO DE SODIO	176,634	236,192	276,577	5,50	Media	Buena

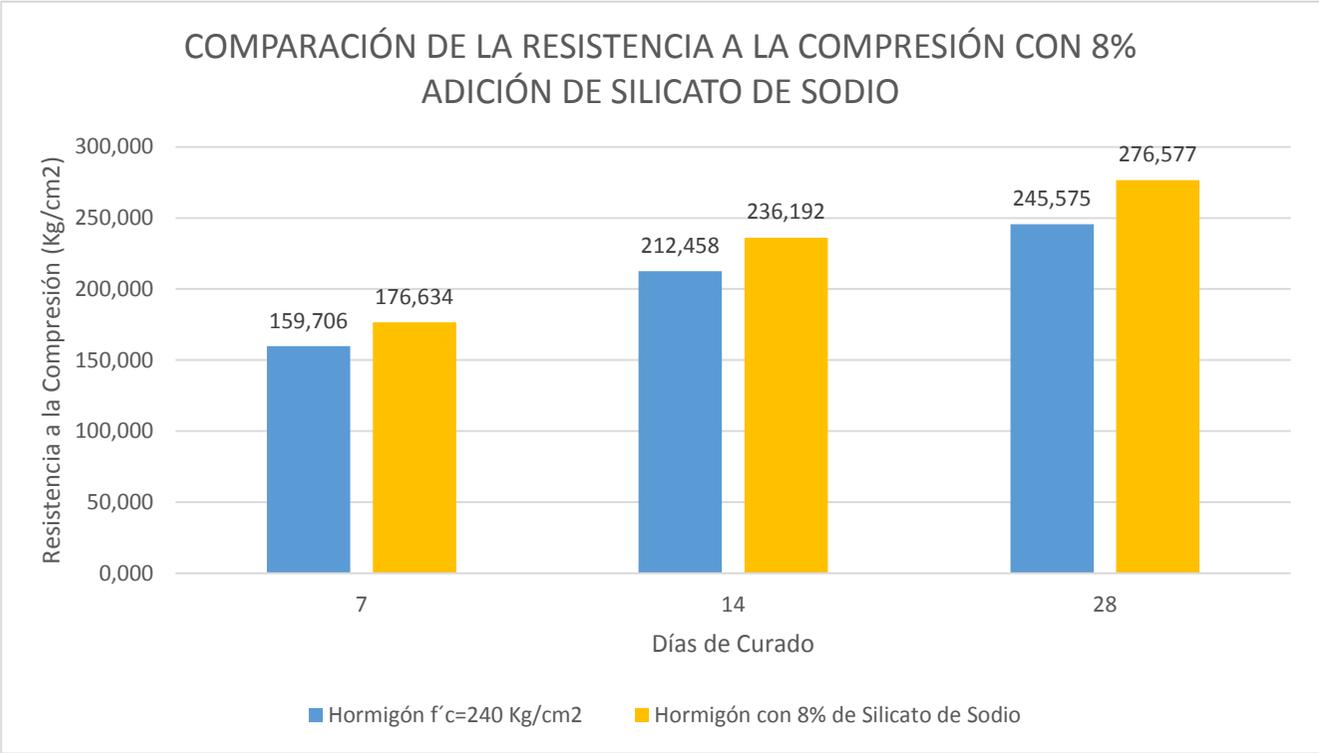
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 26. Curva de resistencia a la compresión con 8% de adición de silicato de sodio



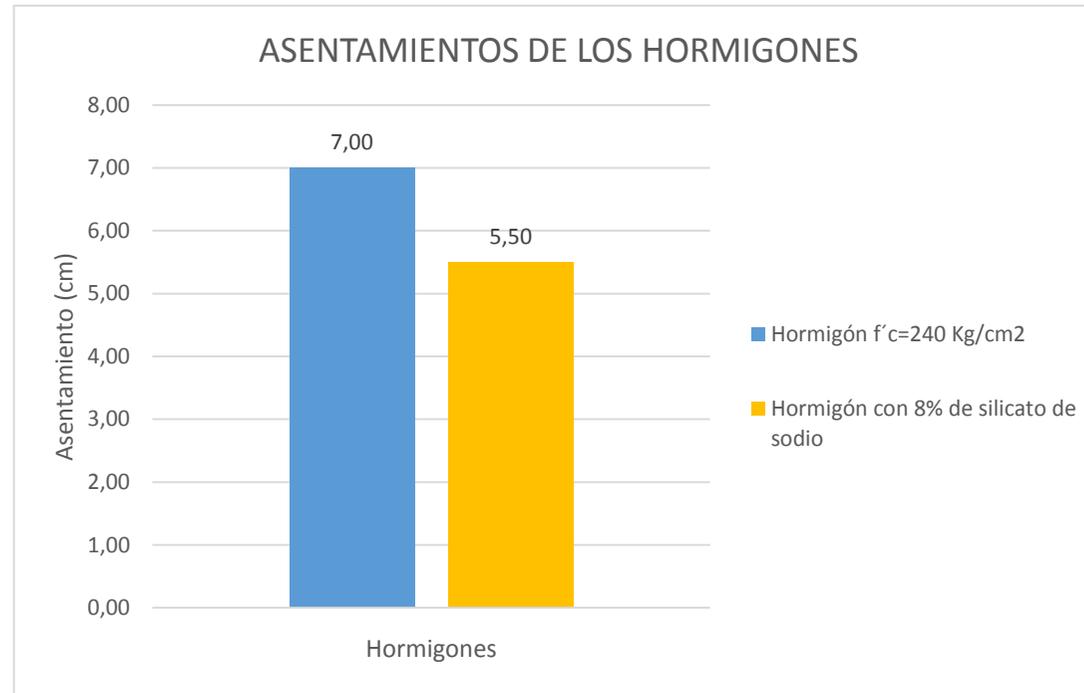
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 27. Comparación de la resistencia a la compresión con 8% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 28. Comparación del asentamiento con 8% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

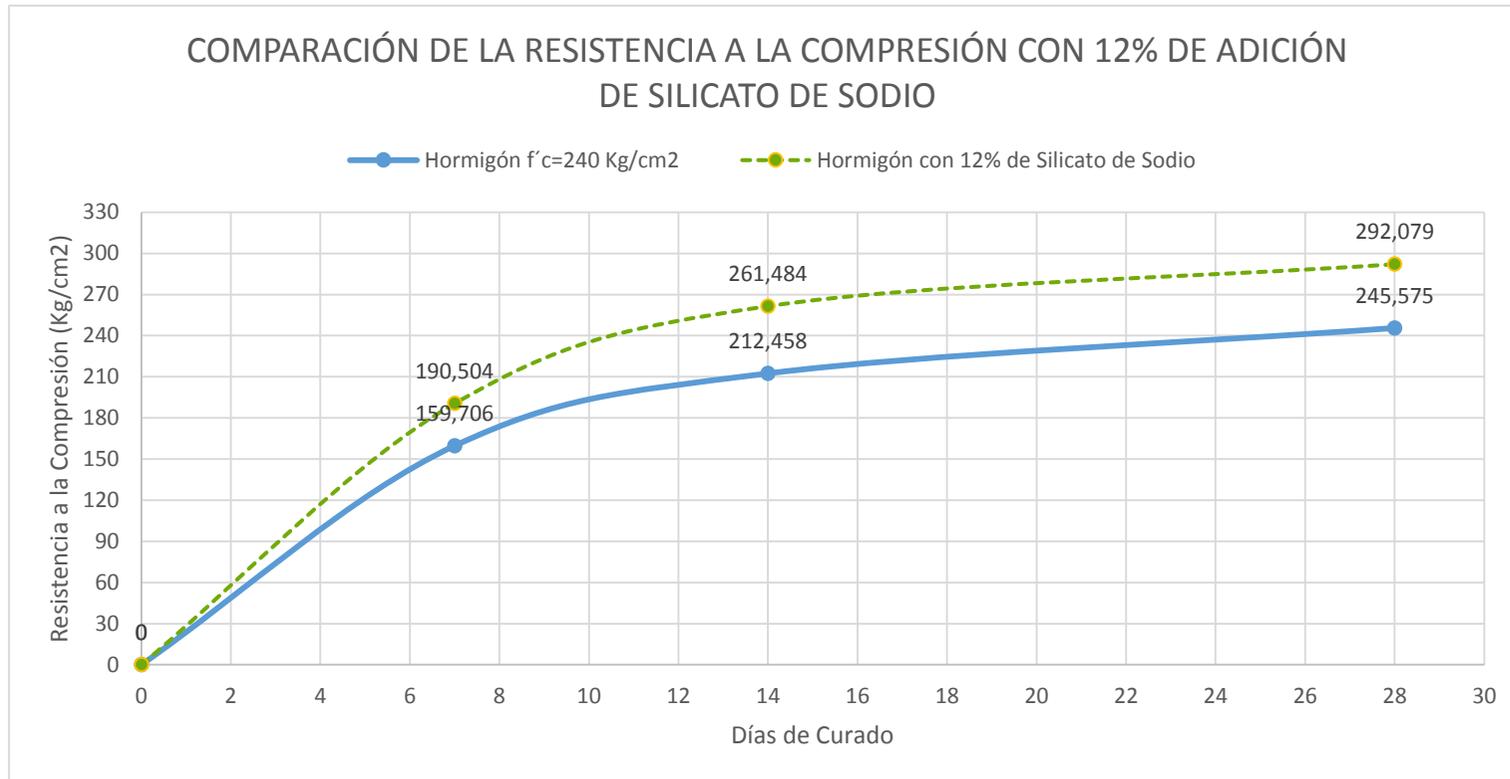
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 80, gráfico 26, 27 y 28 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 8% de silicato de sodio en comparación con el hormigón patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 10.60 %, a los 14 días del 11.17 % y a los 28 días del 12.62 %. Además el hormigón con el 8% de silicato de sodio presenta una disminución del asentamiento del 21.43 % con respecto al asentamiento inicial, sin embargo aún presenta una consistencia media que está entre 5 y 10 cm con una buena trabajabilidad.

Tabla 81. Comparación del hormigón con 12% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 12% DE ADICIÓN DE SILICATO DE SODIO						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EIDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 12% DE SILICATO DE SODIO	190,504	261,484	292,079	4,50	Semi-seca	Regular

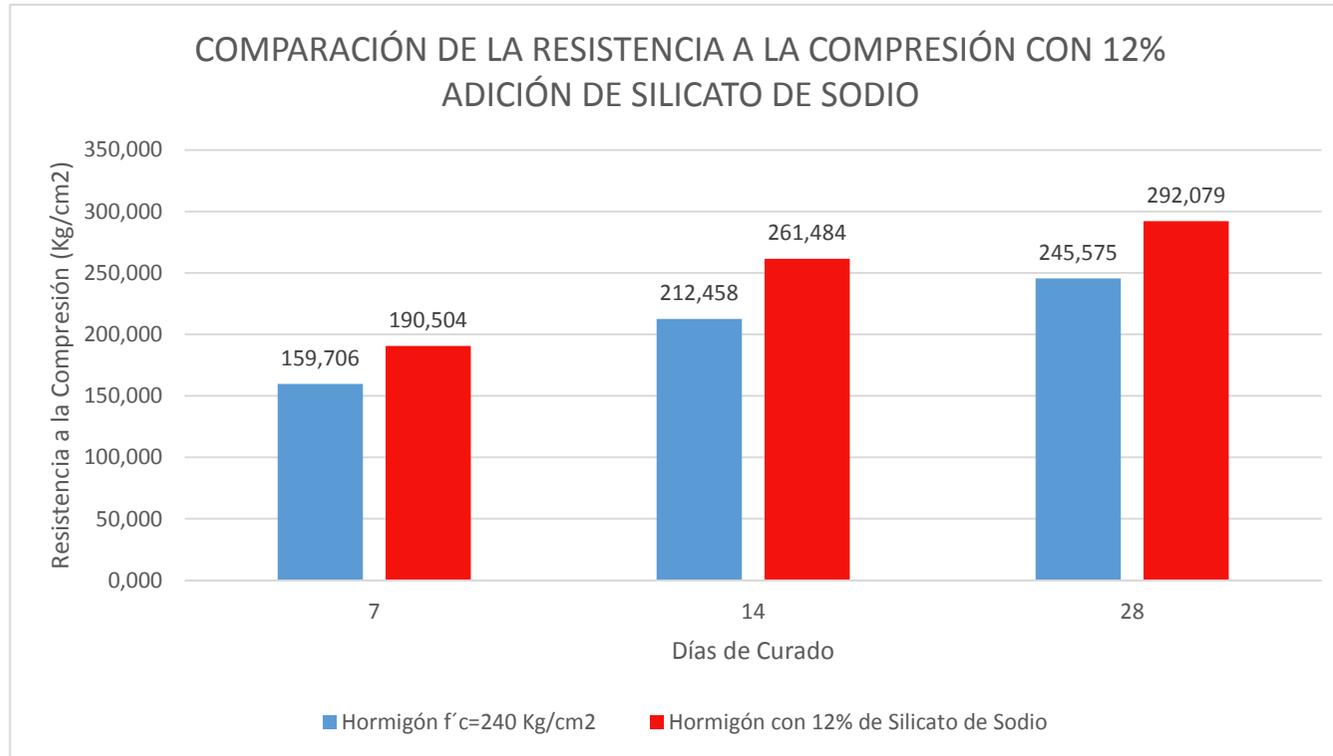
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 29. Curva de resistencia a la compresión con 12% de adición de silicato de sodio



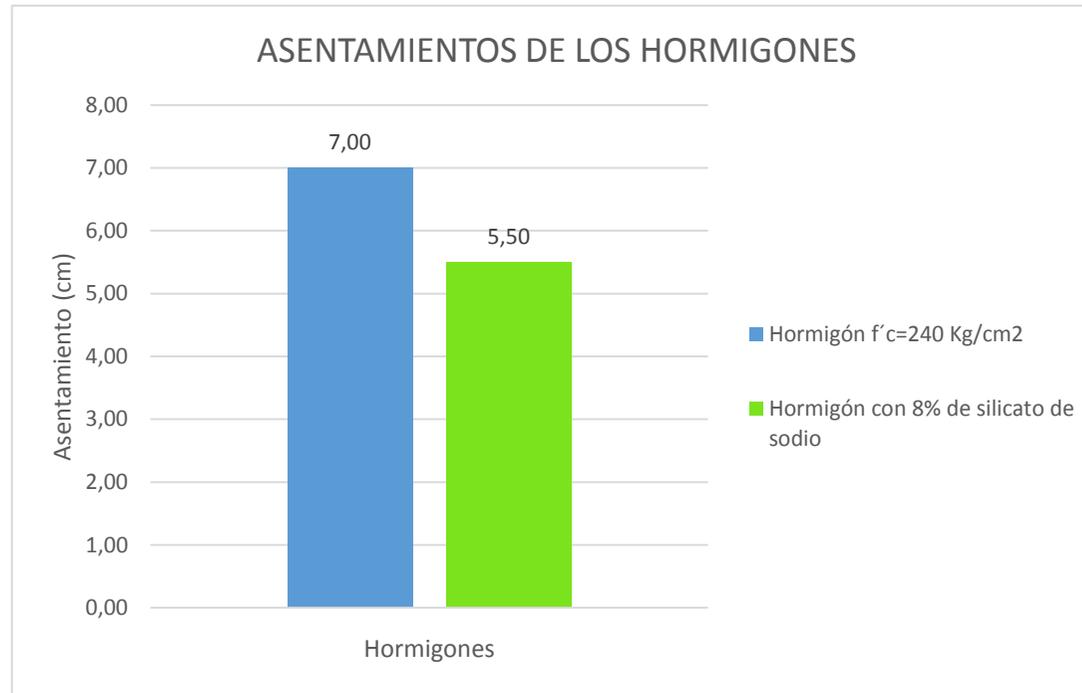
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 30. Comparación de la resistencia a la compresión con 12% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 31. Comparación del asentamiento con 12% de adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

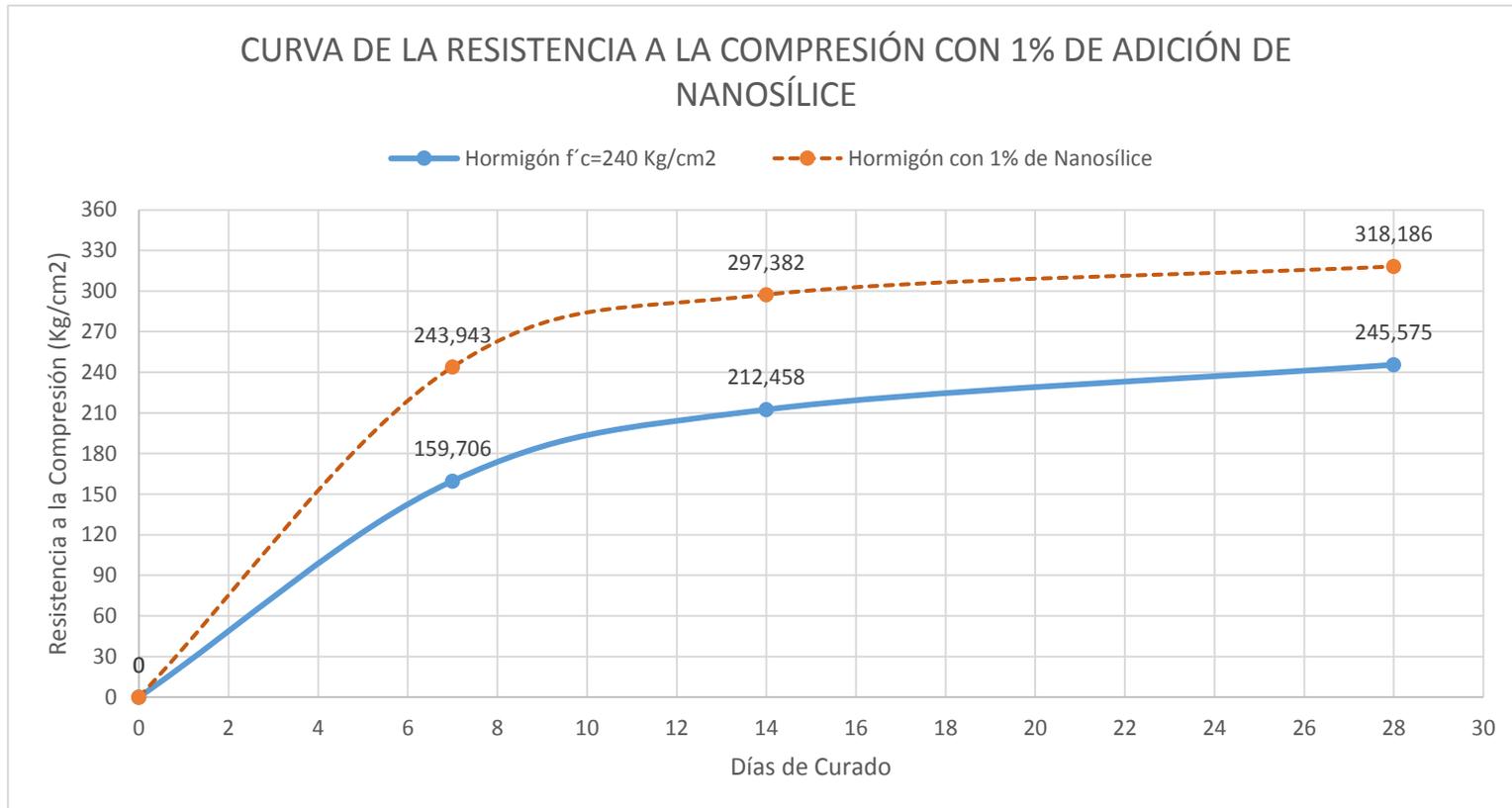
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 81, gráfico 29, 30 y 31 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 12% de silicato de sodio en comparación con el hormigón patrón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 19.28 %, a los 14 días del 23.08 % y a los 28 días del 18.94 %. Además el hormigón con el 12% de silicato de sodio presenta una disminución del asentamiento del 35.71 % con respecto al asentamiento inicial, con una consistencia semi-seca que está entre 3.5 y 5 cm, y una trabajabilidad regular por lo que presenta cierta dificultad en el mezclado.

Tabla 82. Comparación del hormigón con 1% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 1% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 1% DE NANOSÍLICE	243,943	297,382	318,186	6,00	Media	Muy buena

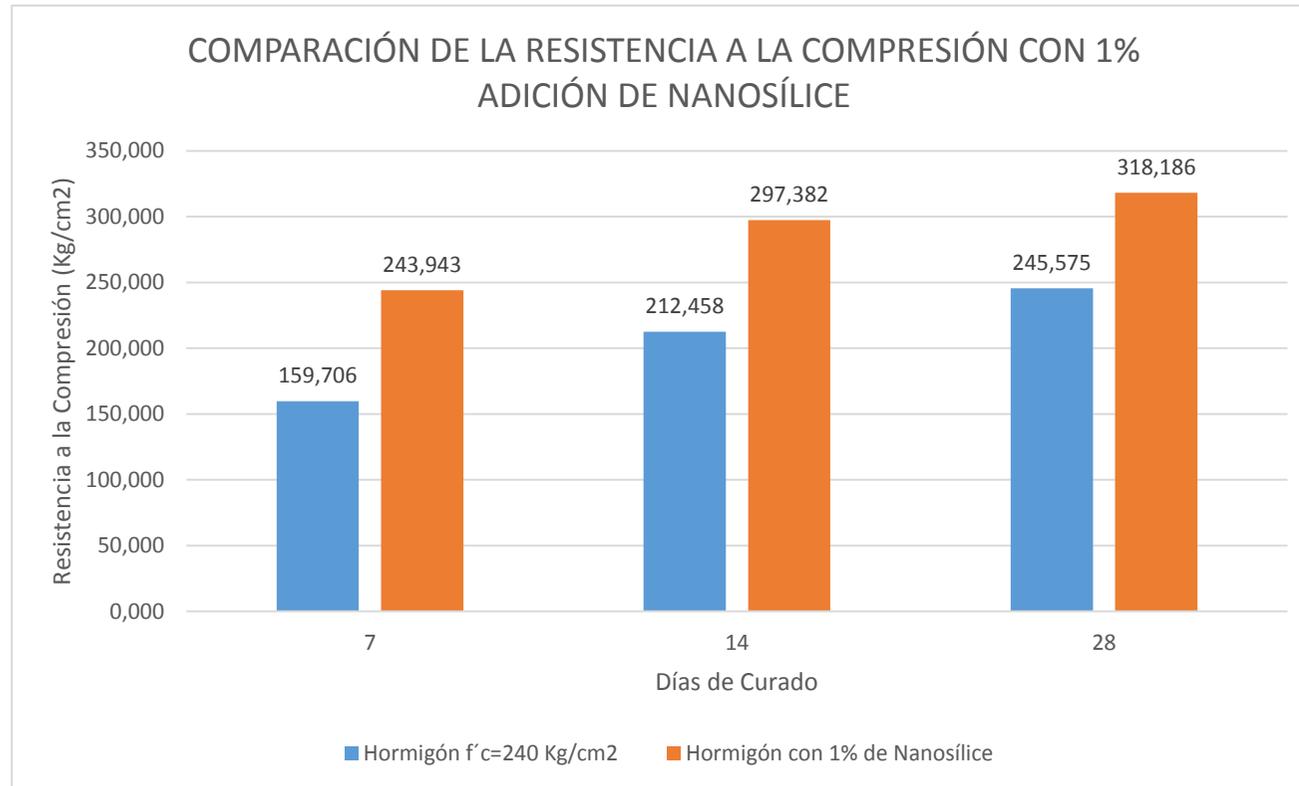
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 32. Curva de resistencia a la compresión con 1% de nanosílice



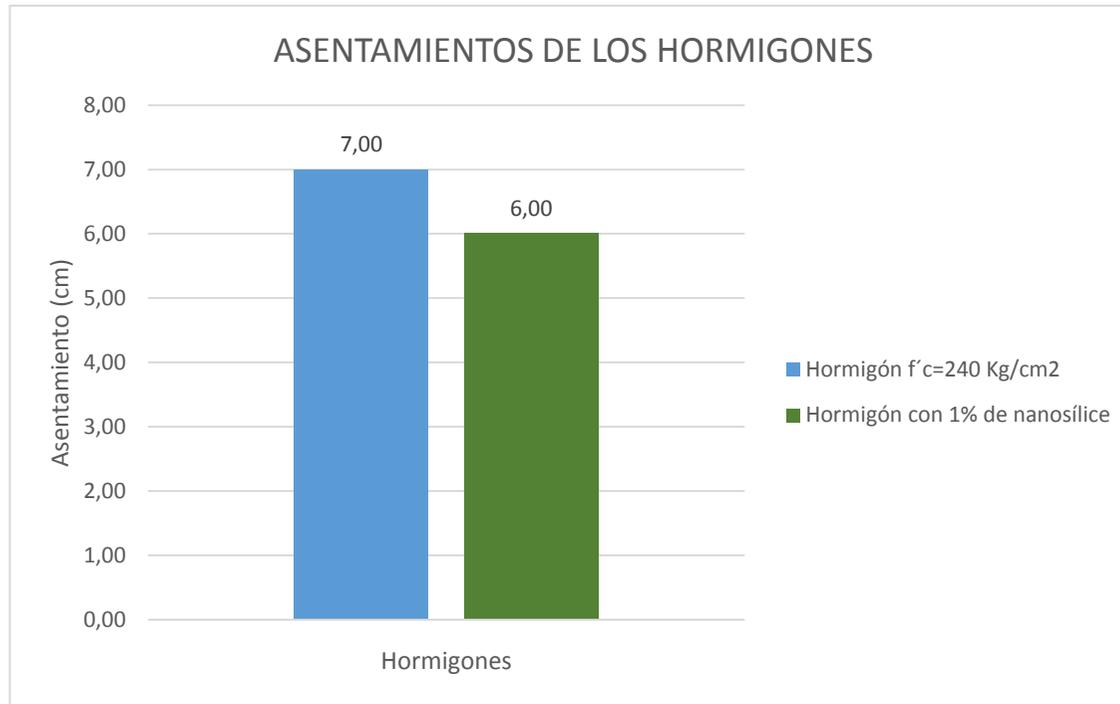
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 33. Comparación de la resistencia a la compresión con 1% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 34. Comparación del asentamiento con 1% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

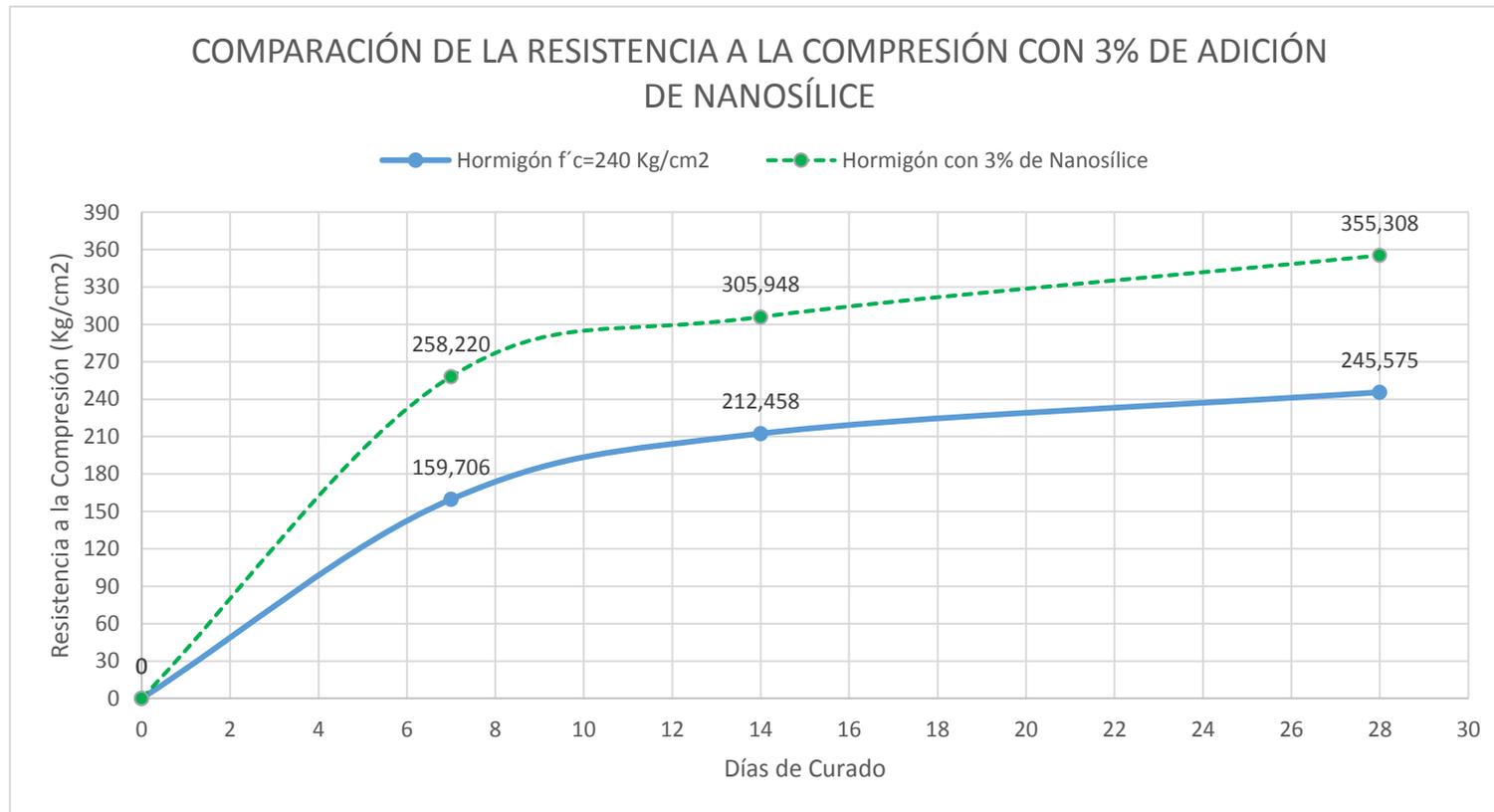
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 82, gráfico 32, 33 y 34 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 1% de nanosílice en comparación con el hormigón patrón $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 52.75 %, a los 14 días del 39.97 % y a los 28 días del 29.57 %. Además el hormigón con el 1% de nanosílice presenta una disminución del asentamiento del 14.29 % con respecto al asentamiento inicial, sin embargo aún presenta una consistencia media que está entre 5 y 10 cm con una muy buena trabajabilidad.

Tabla 83. Comparación del hormigón con 3% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 3% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EIDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 3% DE NANOSÍLICE	258,22	305,948	355,308	5,00	Media	Buena

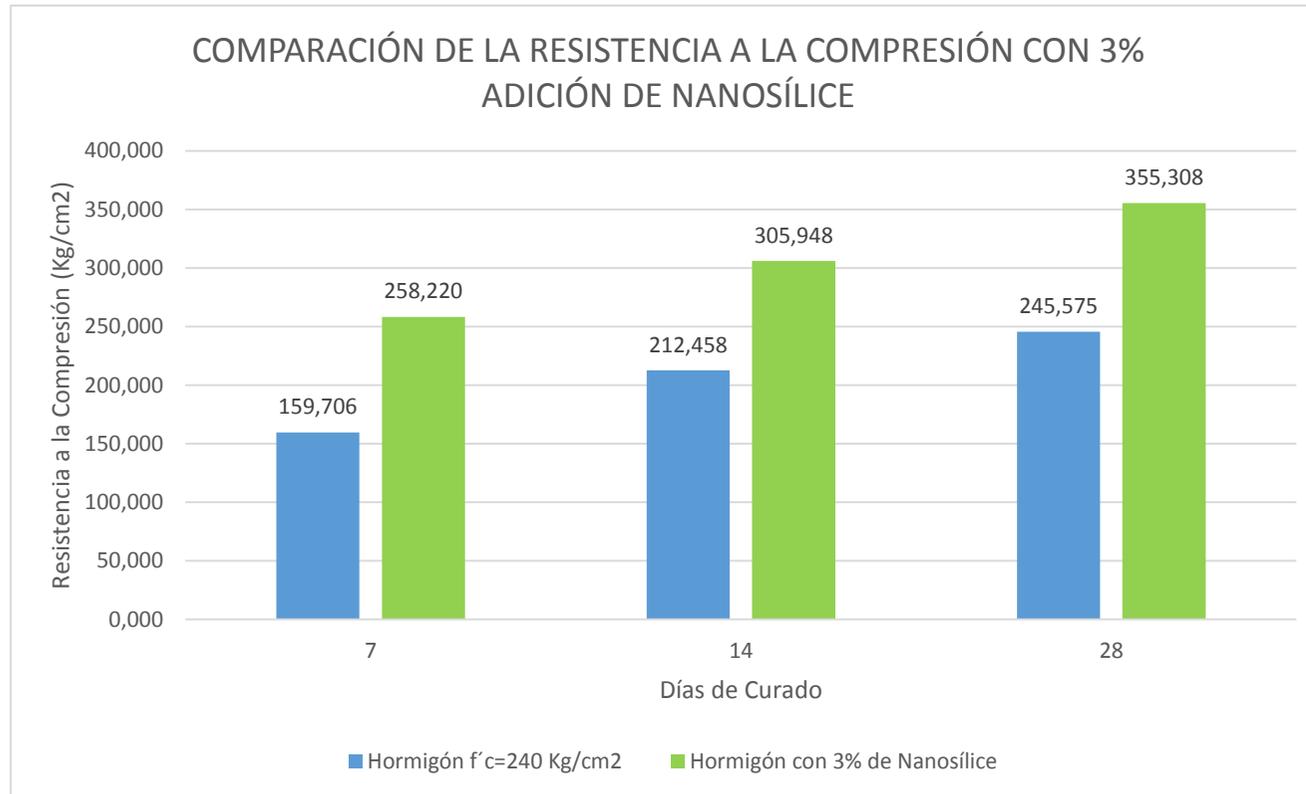
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 35. Curva de resistencia a la compresión con 3% de nanosílice



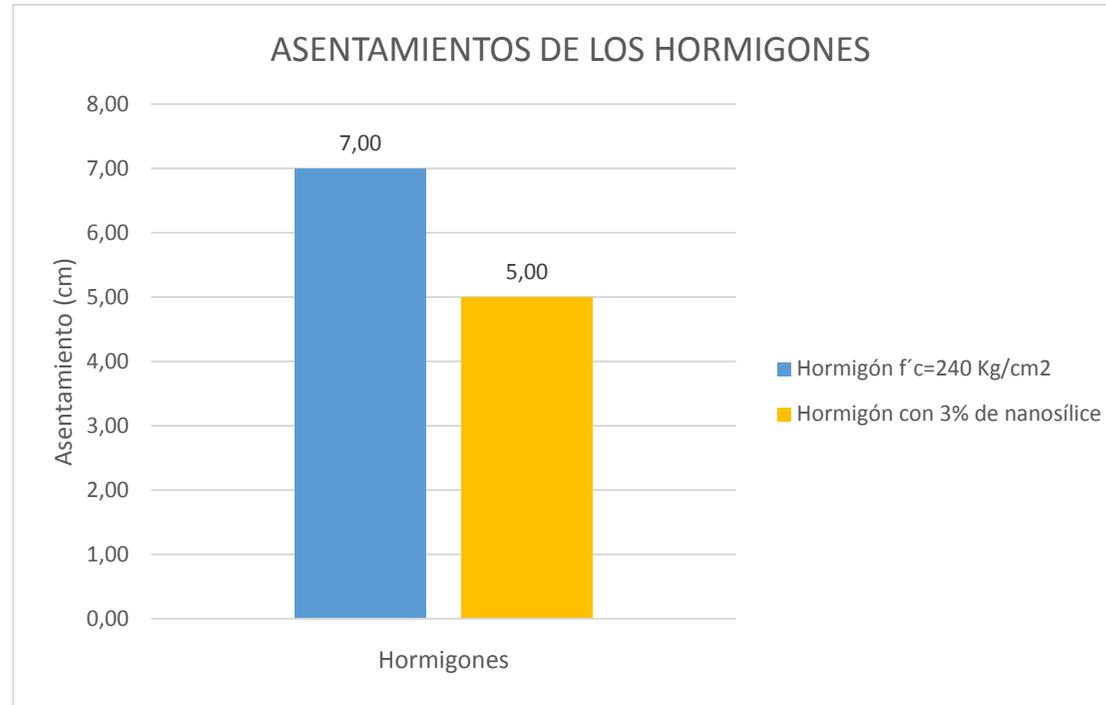
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 36. Comparación de la resistencia a la compresión con 3% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 37. Comparación del asentamiento con 1% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

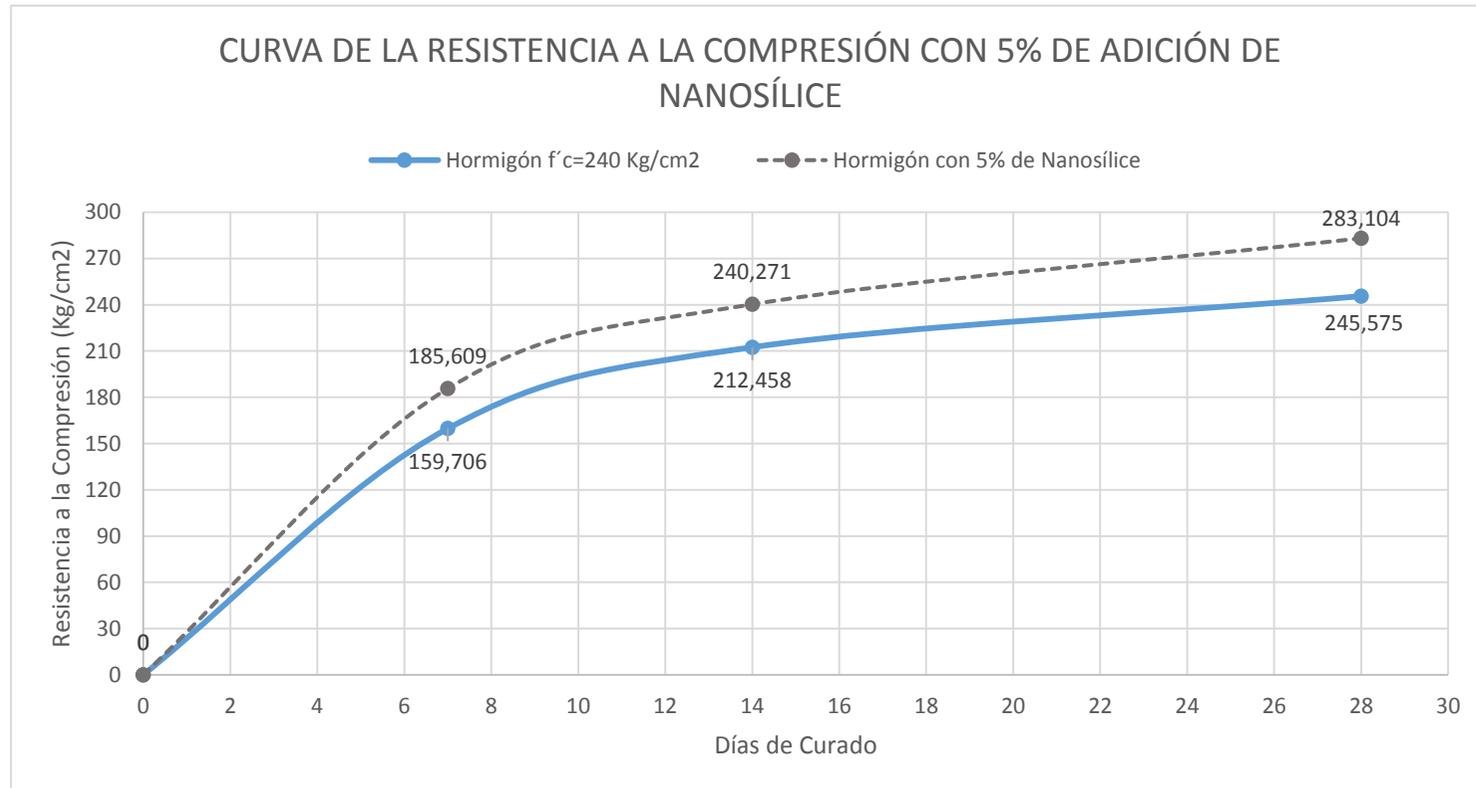
Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 83, gráfico 35, 36 y 37 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 3% de nanosílice en comparación con el hormigón patrón $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 61.68 %, a los 14 días del 44.00 % y a los 28 días del 44.68 %. Además el hormigón con el 3% de nanosílice presenta una disminución del asentamiento del 28.57 % con respecto al asentamiento inicial, sin embargo aún presenta una consistencia media que está entre 5 y 10 cm con una buena trabajabilidad.

Tabla 84. Comparación del hormigón con 5% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
COMPARACIÓN DEL HORMIGÓN CON 5% DE ADICIÓN DE NANOSÍLICE						
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F´C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LAS VARIABLES ESCOGIDAS						
VARIABLES	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm2)			ASENTAMIENTO (cm)	CONSISTENCIA	TRABAJABILIDAD
	EDADES					
	7 días	14 días	28 días			
HORMIGÓN F´C = 240 Kg/cm2	159,706	212,458	245,575	7,00	Media	Muy buena
HORMIGÓN CON 5% DE NANOSÍLICE	185,609	240,271	283,104	4,00	Semi-seca	Regular

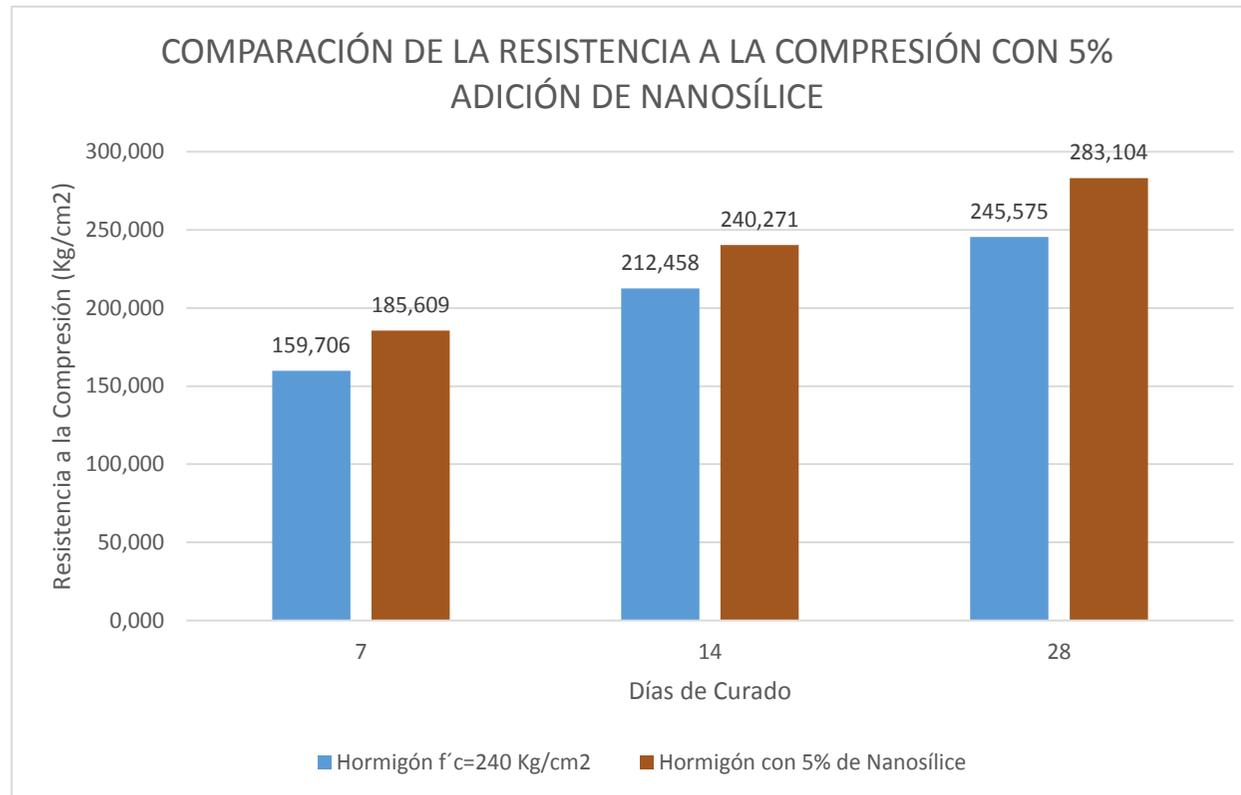
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 38. Curva de resistencia a la compresión con 5% de nanosílice



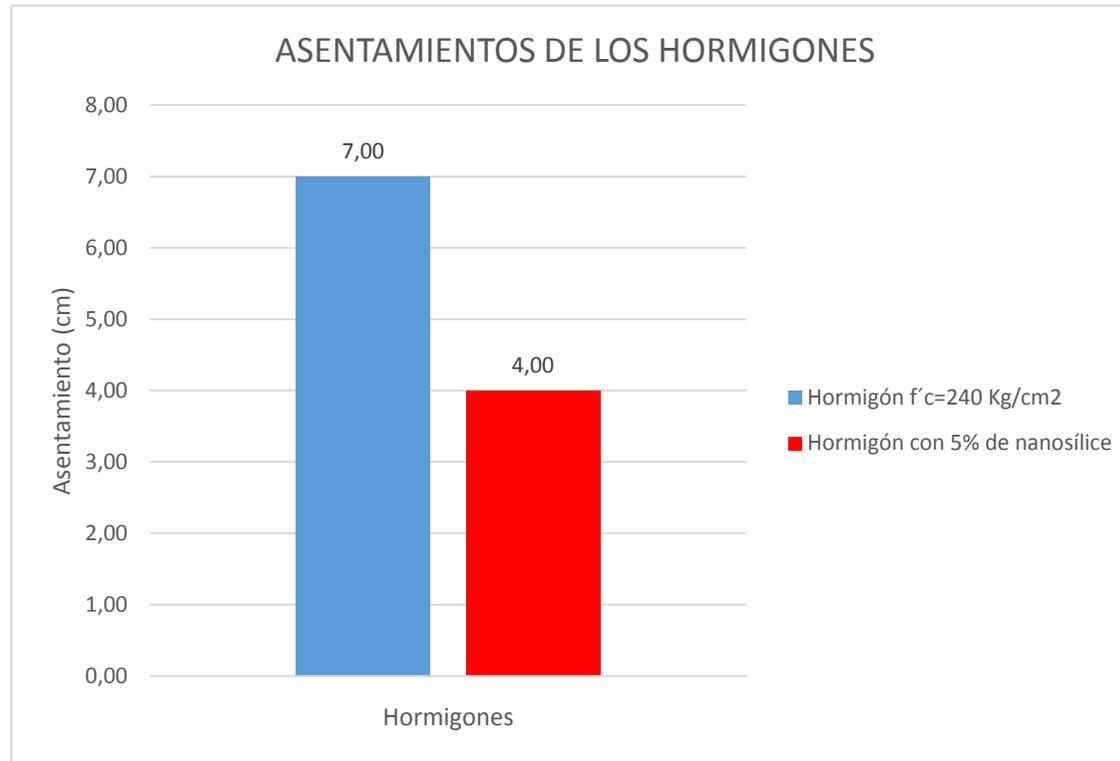
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 39. Comparación de la resistencia a la compresión con 5% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 40. Comparación del asentamiento con 5% de adición de nanosílice

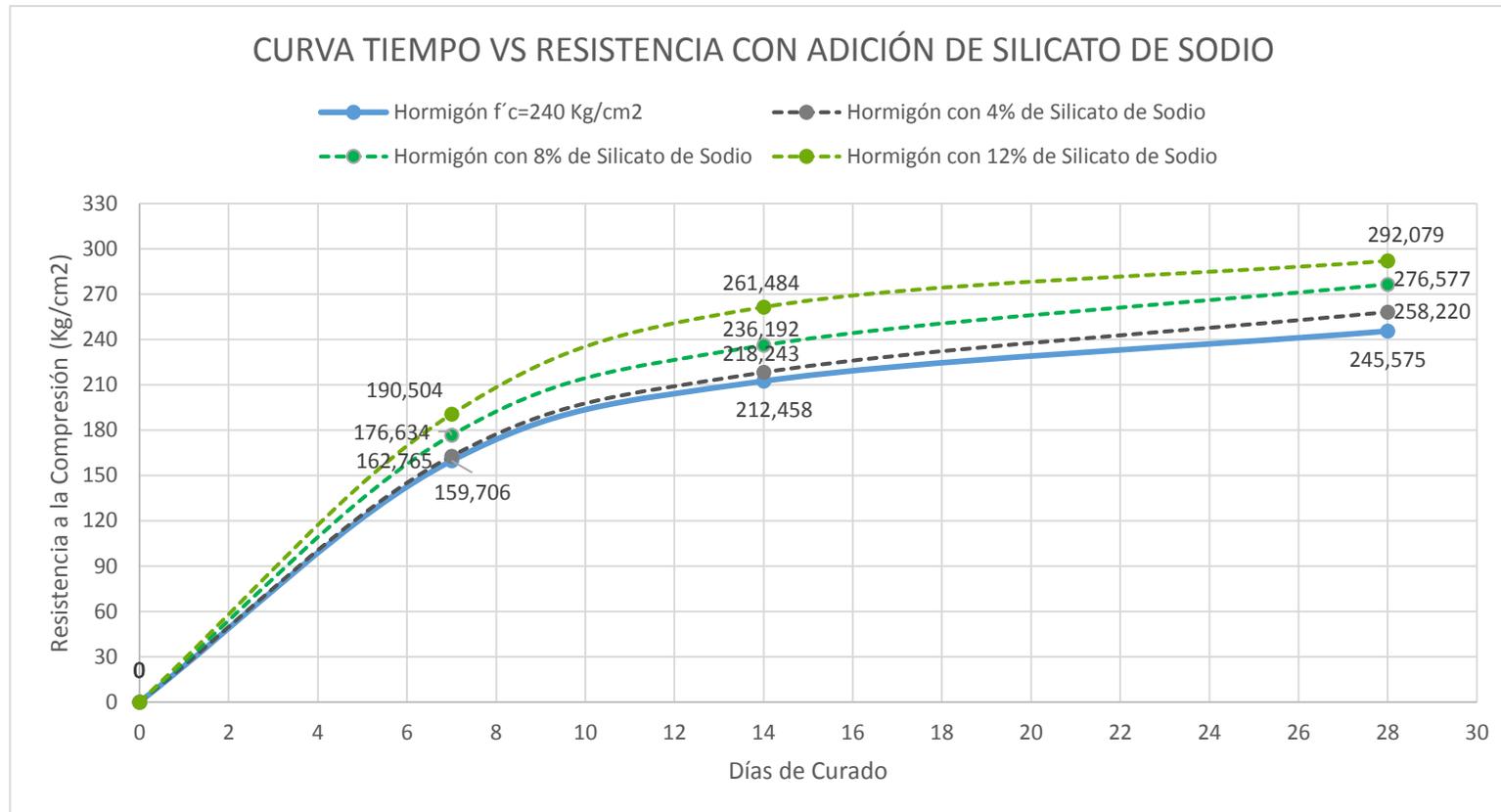


Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 84, gráfico 38, 39 y 40 se determinó la resistencia a la compresión del hormigón con la adición del 5% de nanosílice en comparación con el hormigón patrón $f'_c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Denotándose a los 7 días un incremento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón del 16.22 %, a los 14 días del 13.09 % y a los 28 días del 15.28 %. Además el hormigón con el 5% de nanosílice presenta una disminución del asentamiento del 42.86 % con respecto al asentamiento inicial, con una consistencia semi-seca que está entre 3.5 y 5 cm, y una trabajabilidad regular por lo que presenta cierta dificultad en el mezclado.

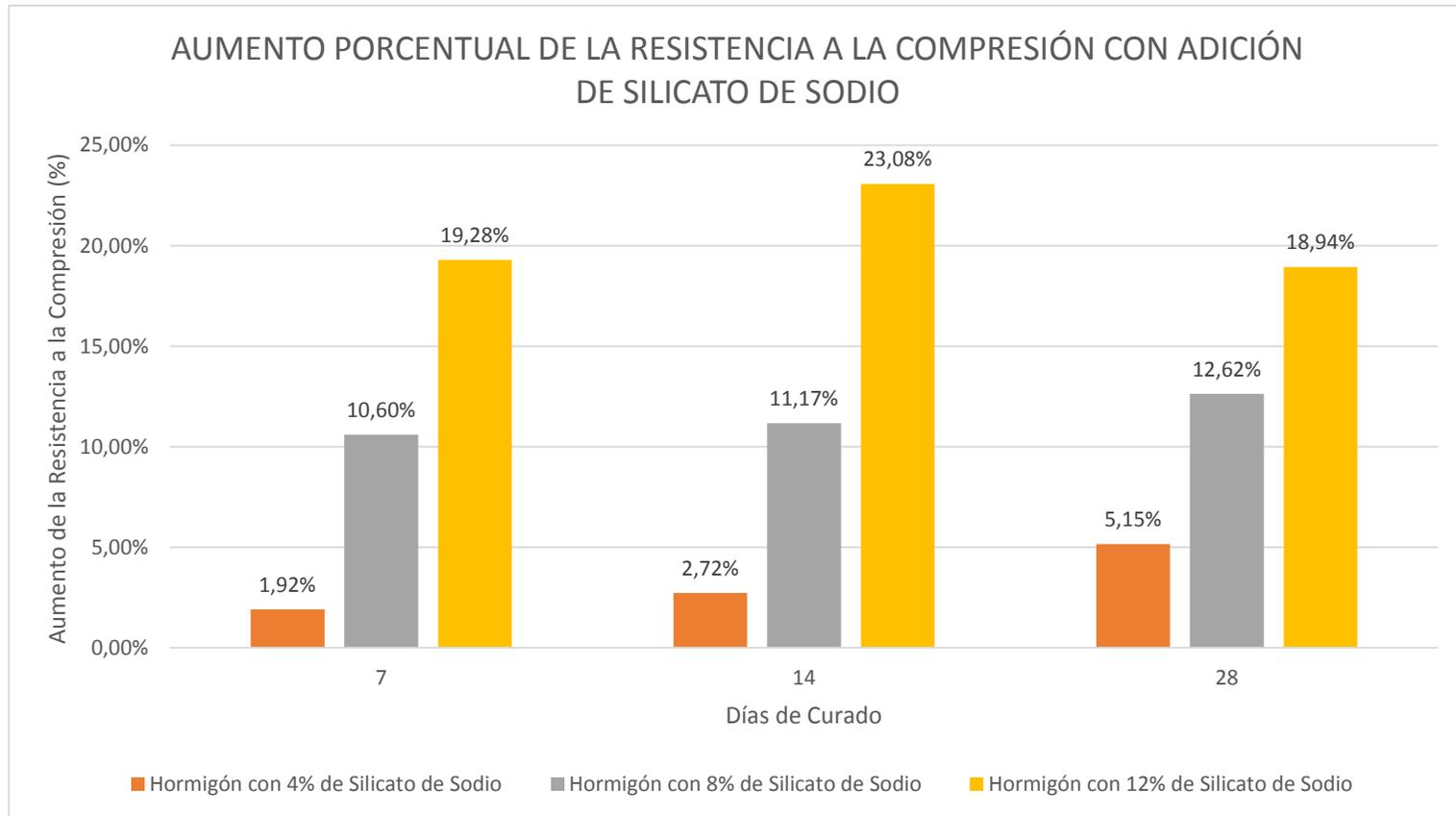
3.1.15 Determinación de la dosificación óptima por cada tipo de adición

Gráfico 41. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio



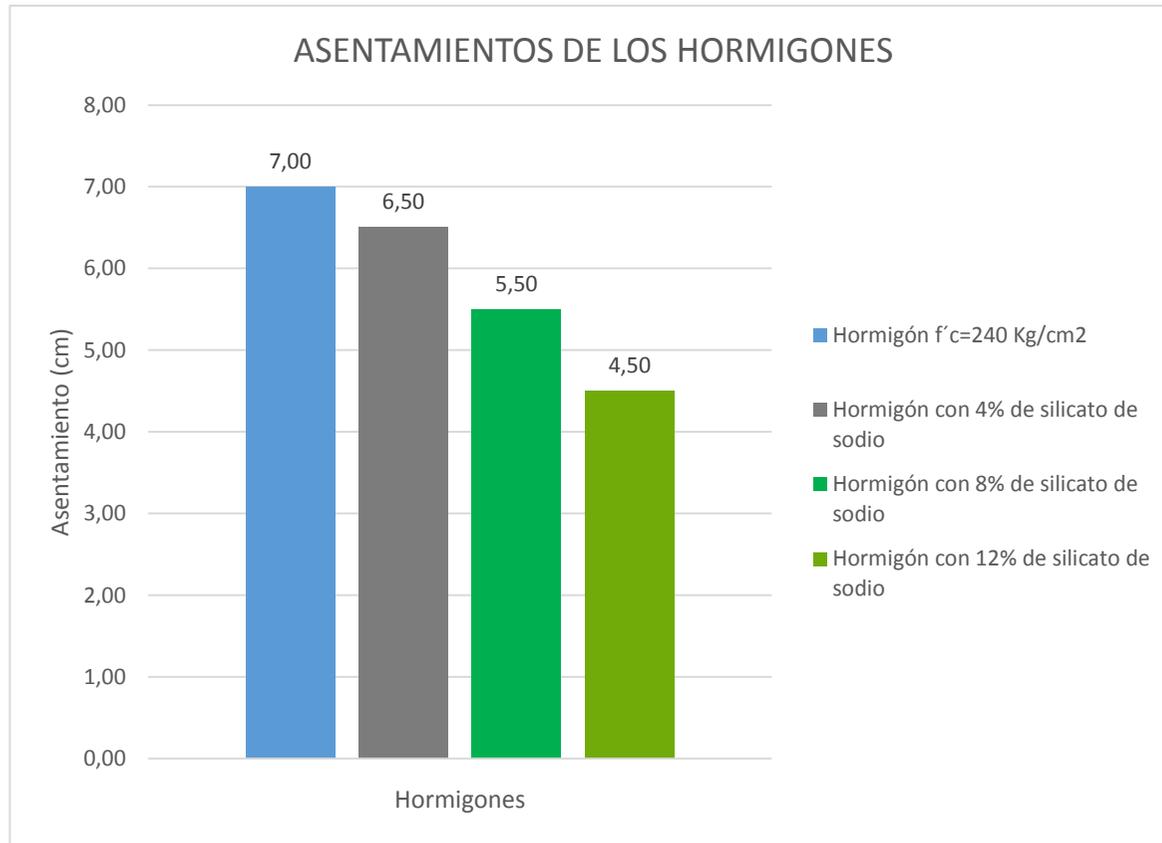
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 42. Comparación del aumento de la resistencia a la compresión con adición de silicato de sodio con respecto al hormigón patrón



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 43. Comparación de los asentamientos con adición de silicato de sodio

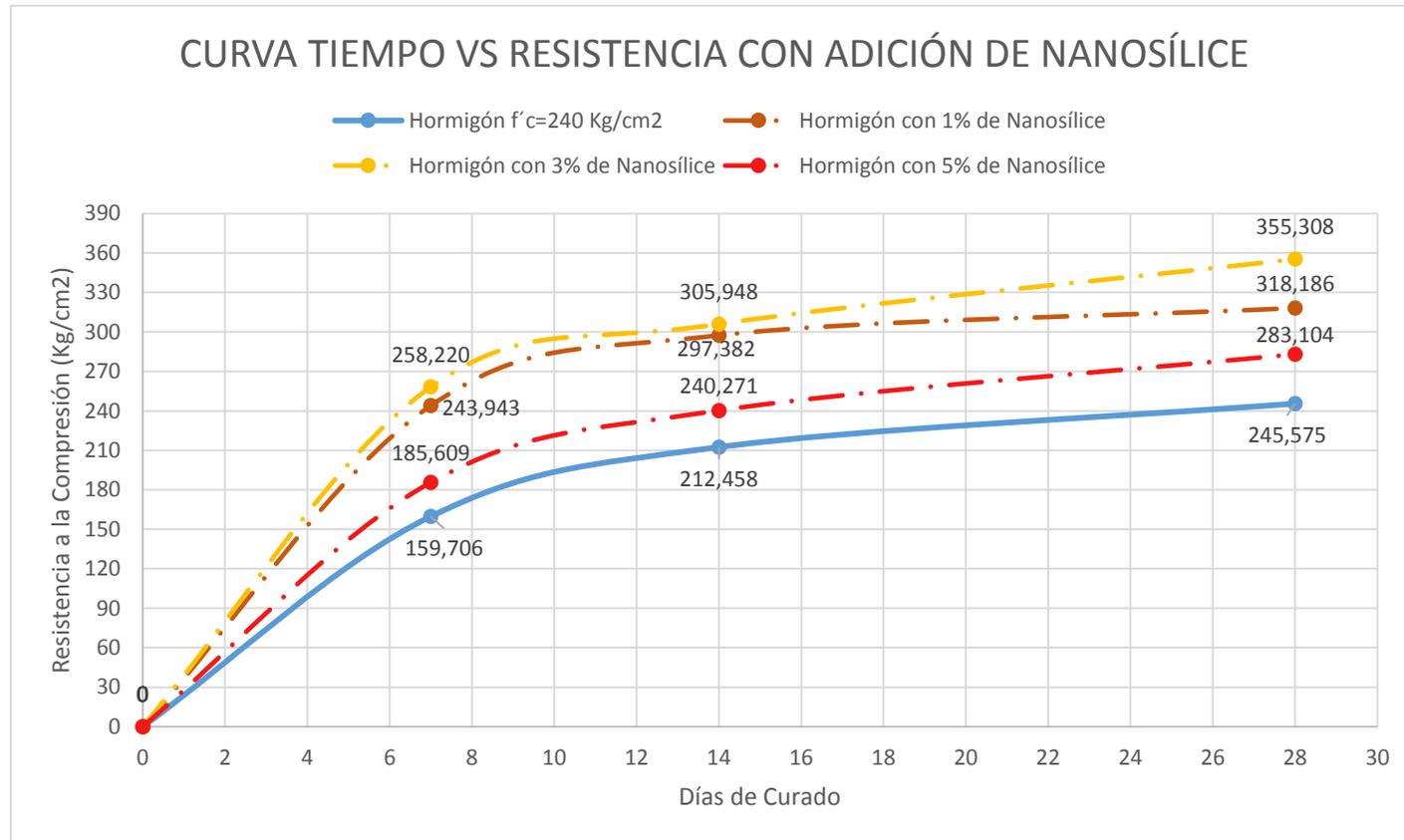


Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo al gráfico 41, 42 y 43, se procede a determinar el porcentaje óptimo de silicato de sodio basándose en el análisis de las variables propuestas (Resistencia, Asentamiento, Consistencia y Trabajabilidad). Determinándose de primero que a medida que se aumenta el porcentaje de adición de silicato de sodio (4%,8%,12%) se ve incrementada la resistencia a la compresión conforme avanza los días de curado. Denotándose a los 7 días de curado con la adición del 4% de silicato de sodio un incremento del 1.92%, con la adición del 8% un incremento del 10.60% y con la adición del 12% un incremento del 19.28%. A los 14 días de curado con la adición del 4% de silicato de sodio se dio un incremento del 2.72%, con la adición del 8% un incremento del 11.17% y con la adición del 12% un incremento del 23.08%. A los 28 días de curado con la adición del 4% de silicato de sodio se dio un incremento del 5.15%, con la adición del 8% un incremento del 12.65% y con la adición del 12% un incremento del 18.94%. Determinándose inicialmente que la mejor dosificación con silicato de sodio a los 7, 14 y 28 días de curado es la del 12%, con el resultado más óptimo a los 14 días.

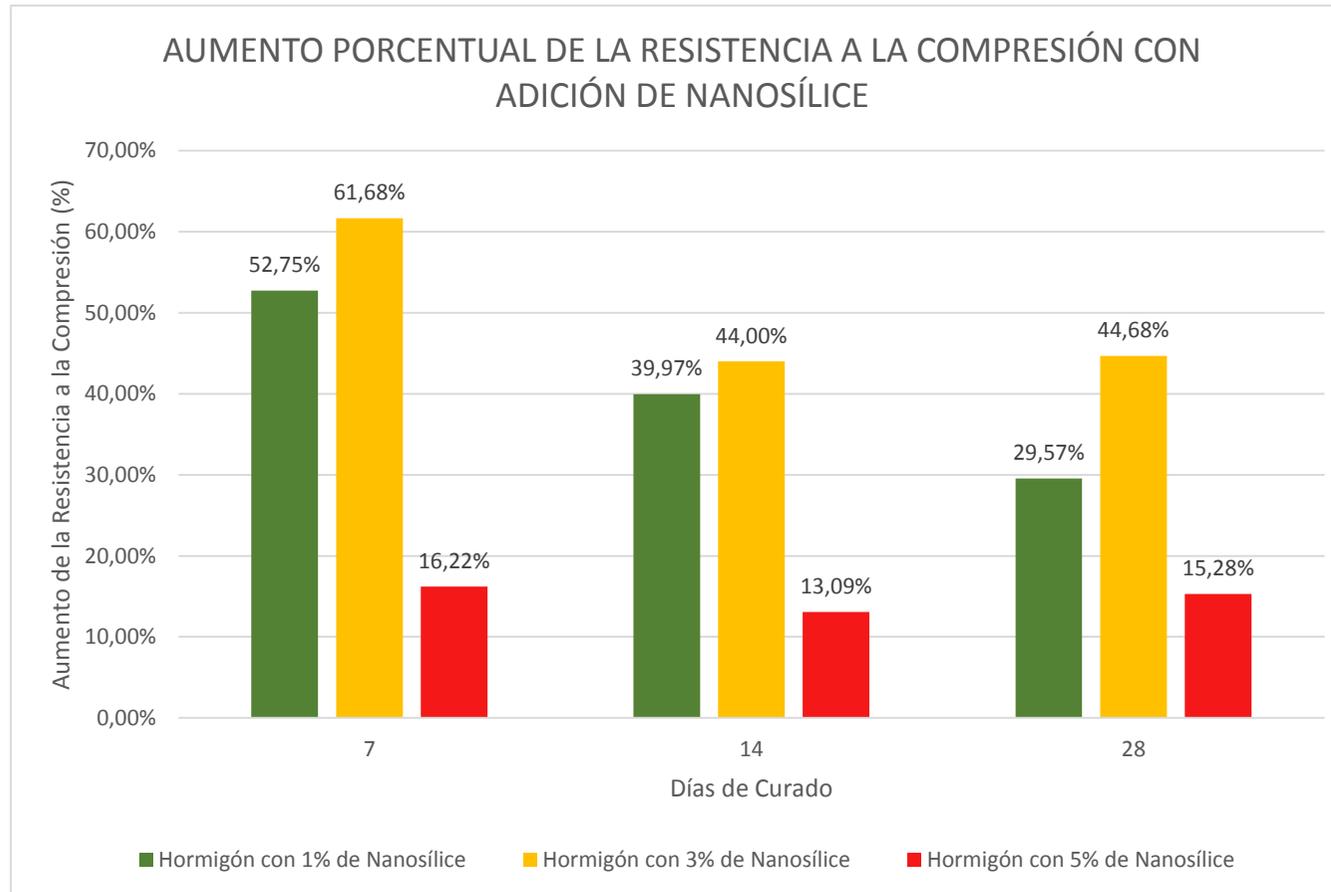
Pero una vez analizado cada una de las variables se determina que la adición óptima se da con el 8% de silicato de sodio debido a que presenta un mayor aumento de la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días con respecto al hormigón patrón con el resultado más óptimo a los 28 días, un asentamiento de 5,5 cm que tiene una consistencia media de buena trabajabilidad la cual es útil para losas, vigas y secciones medianamente reforzadas, y todo tipo de construcción en general para lo cual está enfocado esta investigación. Teniendo en cuenta que aunque la resistencia a la compresión con la dosificación del 12% de silicato de sodio es mucho mayor que la del 8% no se lo tomó a consideración debido a que con respecto a las otras variables está presenta un asentamiento mucho menor de 4,5 cm lo cual lo hace tener una consistencia semi-seca de trabajabilidad regular la cual ya no es muy útil para el sector en el cual se desea emplear.

Gráfico 44. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con adición de nanosílice



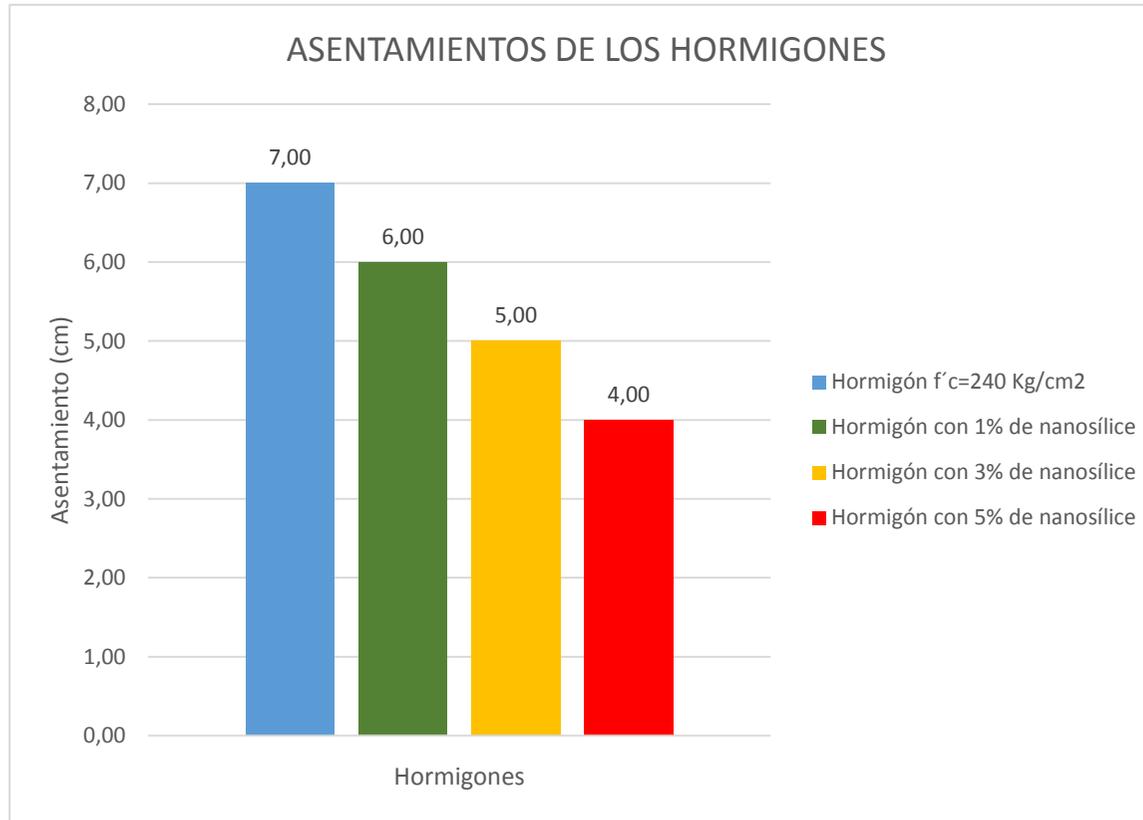
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 45. Comparación del aumento de la resistencia a la compresión con adición de nanosílice con respecto al hormigón patrón



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 46. Comparación de los asentamientos con adición de nanosílice



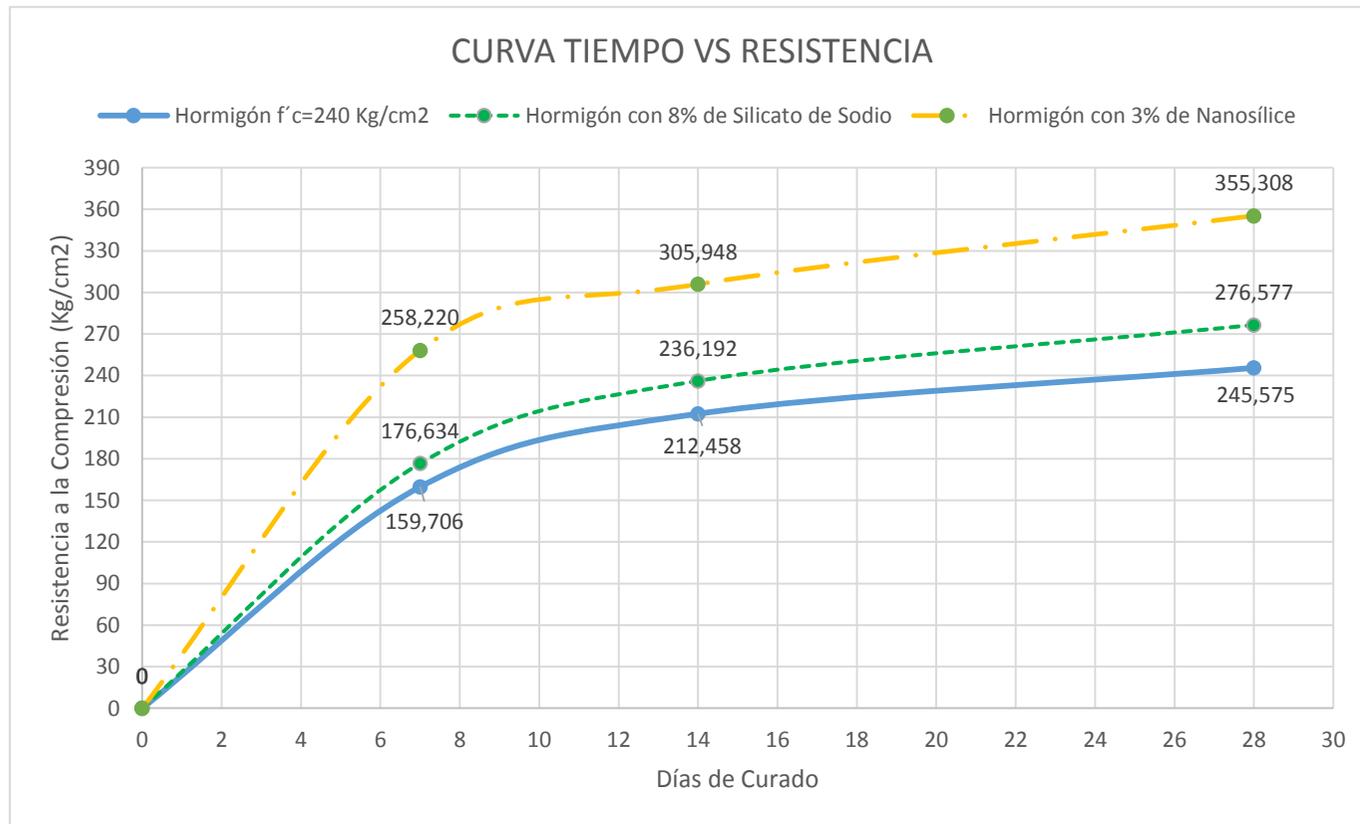
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo al gráfico 44, 45 y 46, se procede a determinar el porcentaje óptimo de nanosílice basándose en el análisis de las variables propuestas (Resistencia, Asentamiento, Consistencia y Trabajabilidad). Determinándose de primero que a medida que se aumenta el porcentaje de adición de nanosílice (1%, 3%) se ve incrementada la resistencia a la compresión conforme avanza los días de curado, a excepción de la adición del 5% la cual aunque es mayor a la del hormigón patrón esta es menor en comparación a las demás adiciones (1%, 3%). Denotándose a los 7 días de curado con la adición del 1% de nanosílice un incremento del 52.75%, con la adición del 3% un incremento del 61.68% y con la adición del 5% un incremento del 16.22%. A los 14 días de curado con la adición del 1% de nanosílice se dio un incremento del 39.97%, con la adición del 3% un incremento del 44.00% y con la adición del 5% un incremento del 13.09%. A los 28 días de curado con la adición del 1% de nanosílice se dio un incremento del 29.57%, con la adición del 3% un incremento del 44.68% y con la adición del 5% un incremento del 15.28%. Determinándose inicialmente que la mejor dosificación con nanosílice a los 7, 14 y 28 días de curado es la del 3%, con el resultado más óptimo a los 7 días.

Una vez analizado cada una de las variables propuestas se determinó que la adición óptima se da con el 3% de nanosílice debido a que en comparación con los otros porcentajes de adición esta presenta el mayor aumento de la resistencia a la compresión con respecto al hormigón patrón a los 7, 14 y 28 días de curado, un asentamiento de 5,0 cm de consistencia media y buena trabajabilidad la cual es útil para losas, vigas y secciones medianamente reforzadas, y todo tipo de construcción en general para lo cual está enfocado esta investigación.

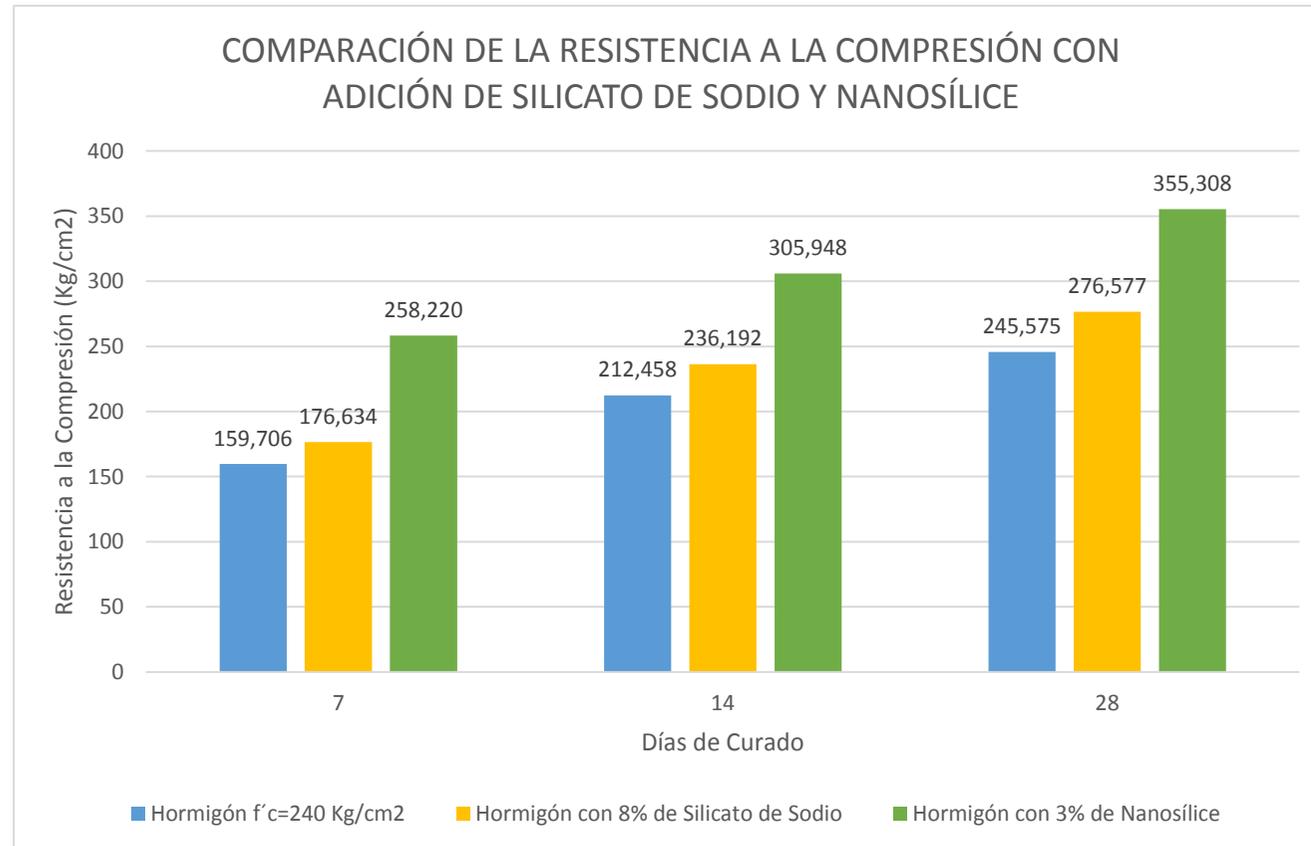
3.1.16 Comparación de las dosificaciones óptimas de silicato de sodio y nanosílice

Gráfico 47. Curva tiempo vs resistencia a la compresión con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice



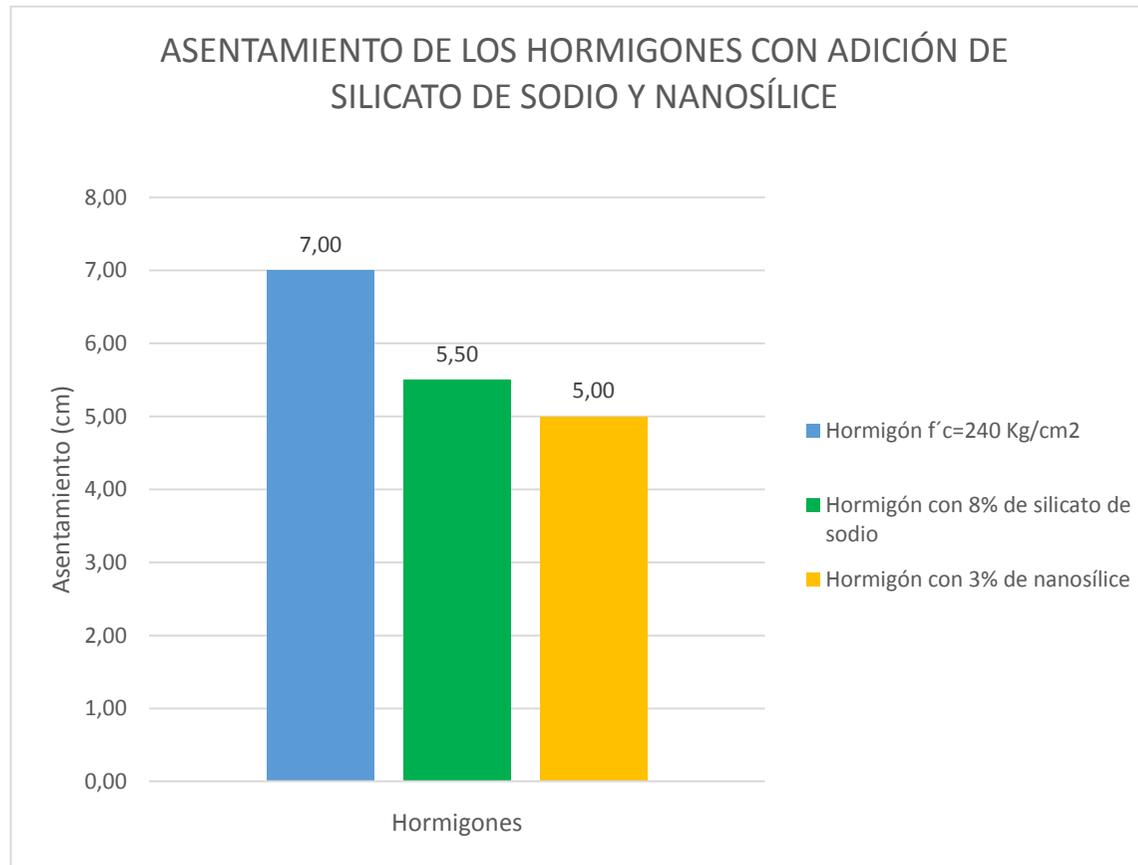
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 48. Comparación de la resistencia a la compresión con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 49. Comparación de los asentamientos con 8 % de adición de silicato de sodio y 3% de adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: Una vez determinado las dosificaciones óptimas de cada adición se procedió a realizar una comparación entre ellas y el hormigón patrón. De acuerdo al gráfico 47, 48 y 49 se obtuvo con la adición del 8% de silicato de sodio un aumento de la resistencia a la compresión del 10.60% a los 7 días, del 11.17% a los 14 días y del 12.62% a los 28 días con respecto al hormigón patrón, mientras que con la adición del 3% de nanosílice se obtuvo incluso una mayor resistencia con un valor porcentual del 61.68% a los 7 días, del 44.00% a los 14 días y del 44.68% a los 28 días. Denotándose claramente una resistencia superior a favor de la dosificación óptima con nanosílice con una diferencia del 51.08% a los 7 días, del 32.83% a los 14 días y del 32.06% a los 28 días en comparación con la dosificación óptima de silicato de sodio. Mientras que para las otras variables como el asentamiento, consistencia y trabajabilidad se mantienen muy similares con una diferencia de apenas el 9.09% (0.5 cm) con respecto a sus asentamientos, manteniéndose en ambas dosificaciones una consistencia media y una buena trabajabilidad en las mezclas.

Posteriormente se procederá a realizar un análisis costo-beneficio de estas dosificaciones con respecto al hormigón patrón con el fin de ver que tan económico son estas adiciones para ser aplicadas en la construcción.

3.1.17 Valores Unitarios

Tabla 85. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<p>PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.</p>					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 1				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland	Kg	400,00	0,14	57,14	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
SUBTOTAL (O)					80,16
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00

COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)	113,45
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%	0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	113,45
VALOR UNITARIO	113,45

SON CIENTO TRECE DÓLARES CON CUARENTA Y CINCO CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 86. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 4% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 2				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 4% de adición de silicato de sodio					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (96%)	Kg	384,00	0,14	54,86	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
Silicato de Sodio (4%)	Kg	16,00	0,71	11,43	
SUBTOTAL (O)					89,31
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00

COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)	122,60
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%	0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	122,60
VALOR UNITARIO	122,60

SON CIENTO VEINTE Y DOS DÓLARES CON SESENTA CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 87. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 8% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $f'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 3				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 8% de adición de silicato de sodio					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (92%)	Kg	368,00	0,14	52,57	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
Silicato de Sodio (8%)	Kg	32,00	0,71	22,86	
SUBTOTAL (O)					98,45
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00
COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)					131,74
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%					0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					131,74
VALOR UNITARIO					131,74

SON CIENTO TREINTA Y UNO DÓLARES CON SETENTA Y CUATRO CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 88. Valor unitario de Hormigón $f'c=240$ Kg/cm² con 12% de adición de silicato de sodio

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F'C = 240 KG/CM2 CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 4				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240$ Kg/cm2 con 12% de adición de silicato de sodio					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (88%)	Kg	352,00	0,14	50,29	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
Silicato de Sodio (12%)	Kg	48,00	0,71	34,29	
SUBTOTAL (O)					107,59
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00
COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)					140,88
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%					0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%					0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					140,88
VALOR UNITARIO					140,88

SON CIENTO CUARENTA DÓLARES CON OCHENTA Y OCHO CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 89. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 1% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 5				UNIDAD: m ³	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 1% de adición de nanosílice					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (99%)	Kg	396,00	0,14	56,57	
Arena Negra	m ³	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m ³	0,87	20,00	17,40	
Agua	m ³	0,20	0,60	0,12	
Nanosílice (1%)	Kg	4,00	3,57	14,29	
SUBTOTAL (O)					93,88
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00

COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)	127,17
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%	0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	127,17
VALOR UNITARIO	127,17

SON CIENTO VEINTE Y SIETE DÓLARES CON DIECISIETE CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 90. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 6				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 3% de adición de nanosílice					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (97%)	Kg	388,00	0,14	55,43	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
Nanosílice (3%)	Kg	12,00	3,57	42,86	
SUBTOTAL (O)					121,31
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00

COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)	154,60
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%	0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	154,60
VALOR UNITARIO	154,60

SON CIENTO CINCUENTA Y CUATRO DÓLARES CON SESENTA CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Tabla 91. Valor unitario de Hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de adición de nanosílice

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
<p>PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE $F'c = 240 \text{ KG/CM}^2$ CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.</p>					
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: 7				UNIDAD: m3	
DETALLE: Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con 5% de adición de nanosílice					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
Concretera 1 sac	1,00	4,66	4,66	0,94	4,38
Herramienta menor (5% Mano de Obra)					1,38
SUBTOTAL (M)					5,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD (A)	JORNAL/HR (B)	COSTO HORA (C = A*B)	RENDIMIENTO (R)	COSTO (D=C*R)
M. Mayor Ejec. Obras Civiles (Est. Ocup. C1)	1,00	4,04	4,04	0,94	3,80
Albañil (Est. Ocup. D2)	1,00	3,65	3,65	0,94	3,43
Peón (Est. Ocup. E2)	6,00	3,60	21,6	0,94	20,30
SUBTOTAL (N)					27,53
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO (C=A*B)	
Cemento Portland (95%)	Kg	380,00	0,14	54,29	
Arena Negra	m3	0,55	10,00	5,50	
Ripio Triturado	m3	0,87	20,00	17,40	
Agua	m3	0,20	0,60	0,12	
Nanosílice (5%)	Kg	20,00	3,57	71,43	
SUBTOTAL (O)					148,73
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	TARIFA (B)	COSTO (C=A*B)	
SUBTOTAL (P)					0,00

COSTO TOTAL DIRECTO (M+N+O+P)	182,02
INDIRECTOS Y UTILIDADES 0.00%	0,00
OTROS INDIRECTOS 0.00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO	182,02
VALOR UNITARIO	182,02

SON CIENTO OCHENTA Y DOS DÓLARES CON DOS CENTAVOS

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

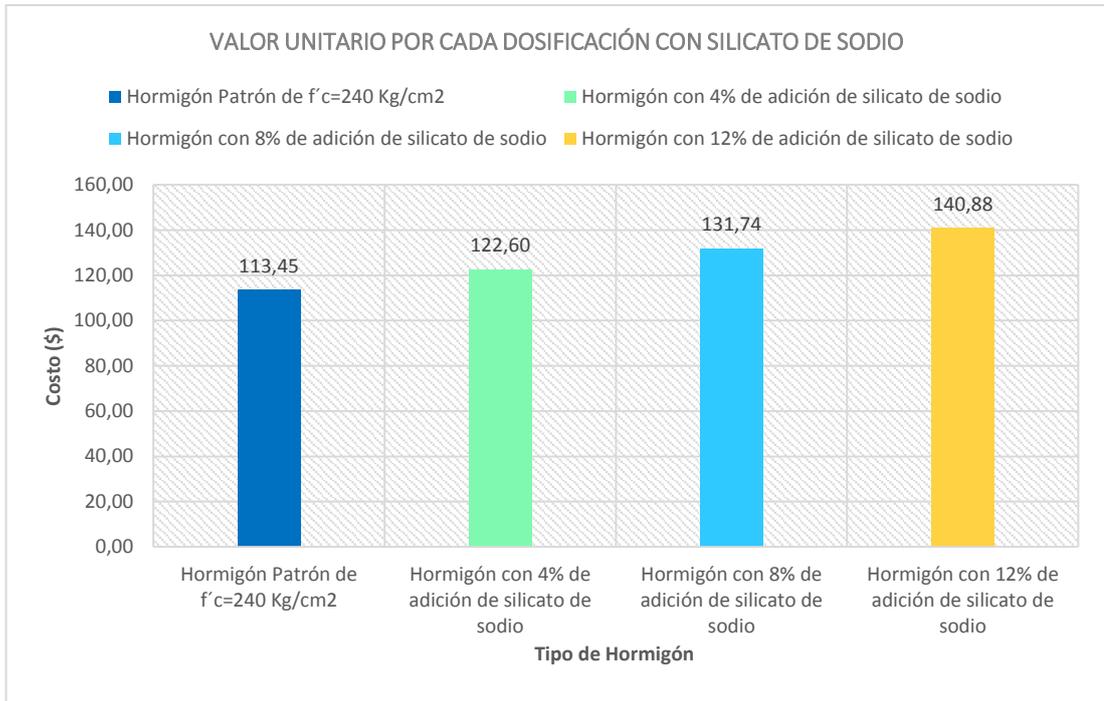
FECHA: Marzo de 2020

Egdo. Jefferson Caiza

ELABORADO

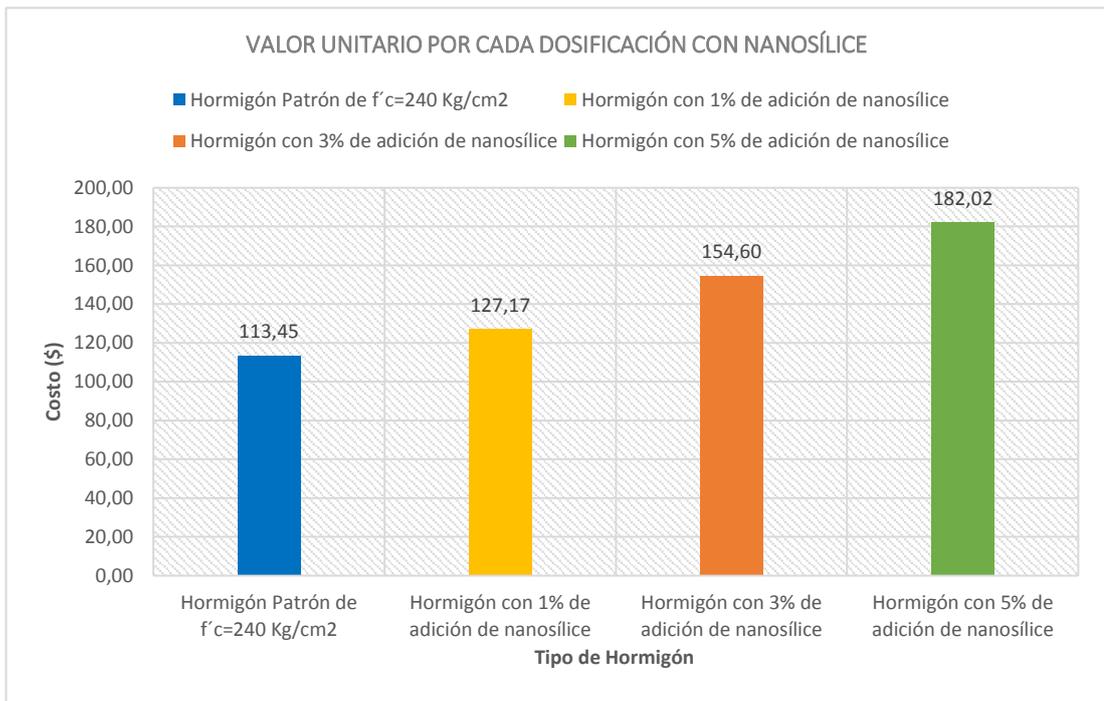
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 50. Valor unitario por cada dosificación con silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 51. Valor unitario por cada dosificación con nanosílíce



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo al gráfico 50 y 51, se determinaron los precios unitarios del hormigón de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con un valor de referencial de 113.45 dólares, hormigón con 4% de adición de silicato de sodio con un valor de 122.60 dólares, hormigón con 8% de adición de silicato de sodio con un valor de 131.74 dólares y hormigón con 12% de adición de silicato de sodio con un valor de 140.88 dólares por m^3 . Mientras que el hormigón con 1% de adición de nanosílice tuvo un valor de 127.17 dólares, hormigón con 3% de adición de nanosílice con un valor de 154.60 dólares y hormigón con 5% de adición de nanosílice con un valor de 182.02 dólares por m^3 . Denotándose un incremento por coste unitario con el 4% de silicato de sodio del 8.07%, con el 8% de silicato de sodio un incremento del 16.12% y con el 12% de silicato de sodio un incremento del 24.18% con respecto al valor referencial del hormigón patrón. Mientras que con el 1% de adición de nanosílice se da un incremento por coste unitario del 12.09%, con el 3% de nanosílice un incremento de 36.27% y con el 5% de nanosílice un incremento de 60.44% con respecto al valor referencial del hormigón patrón.

Determinándose que inicialmente tanto el silicato de sodio como el nanosílice tienden a ser más caros que el hormigón tradicional esto debido a que el precio por Kg del silicato de sodio es de 0.72 dólares y el precio por Kg de nanosílice es de 3.57 mientras que la del cemento es de apenas 0.14 dólares por Kg, teniendo en cuenta que estos valores no incluyen IVA. Debido a esto se procederá a realizar un análisis coste-beneficio para determinar un valor equivalente que relacione la resistencia obtenida y el precio unitario de cada hormigón con cada una de las adiciones para obtener un valor más real.

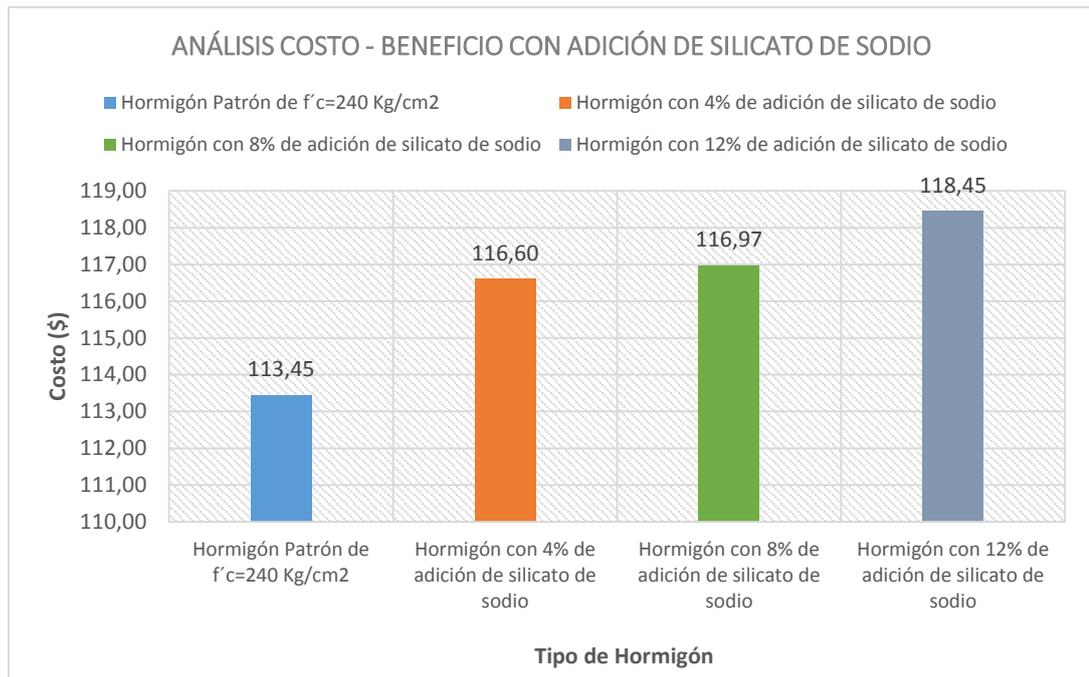
3.1.18 Análisis Coste – Beneficio

Tabla 92. Comparación de costos por m³ de cada tipo de hormigón

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO						
PROYECTO: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN HORMIGÓN HIDRÁULICO (TIPO GU) DE F ^c = 240 KG/CM ² CON DIFERENTES DOSIFICACIONES DE SILICATO DE SODIO Y NANOSÍLICE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA SANTA ISABEL UBICADO EN LA VIA SHELL - MADRE TIERRA, CIUDAD DE PUYO - PROVINCIA DE PASTAZA.						
COMPARACIÓN DE LOS COSTOS POR M3 DE HORMIGÓN						
TIPO DE HORMIGÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN 28 DIAS (Kg/cm ²)	RESISTENCIA PORCENTUAL (%)	VALOR UNITARIO (\$)	COSTO EQUIVALENTE (\$)	VALOR EN AHORRO (\$)	VALOR EN AHORRO (%)
Hormigón Patrón de f ^c =240 Kg/cm ²	245,58	100,00	113,45	113,45	0,00	0,00
Hormigón con 4% de adición de silicato de sodio	258,22	105,15	122,60	116,60	-3,15	-2,78
Hormigón con 8% de adición de silicato de sodio	276,58	112,62	131,74	116,97	-3,52	-3,11
Hormigón con 12% de adición de silicato de sodio	292,08	118,94	140,88	118,45	-5,00	-4,41
Hormigón con 1% de adición de nanosílice	318,19	129,57	127,17	98,15	15,30	13,49
Hormigón con 3% de adición de nanosílice	355,31	144,68	154,60	106,85	6,60	5,81
Hormigón con 5% de adición de nanosílice	283,10	115,28	182,02	157,89	-44,44	-39,17

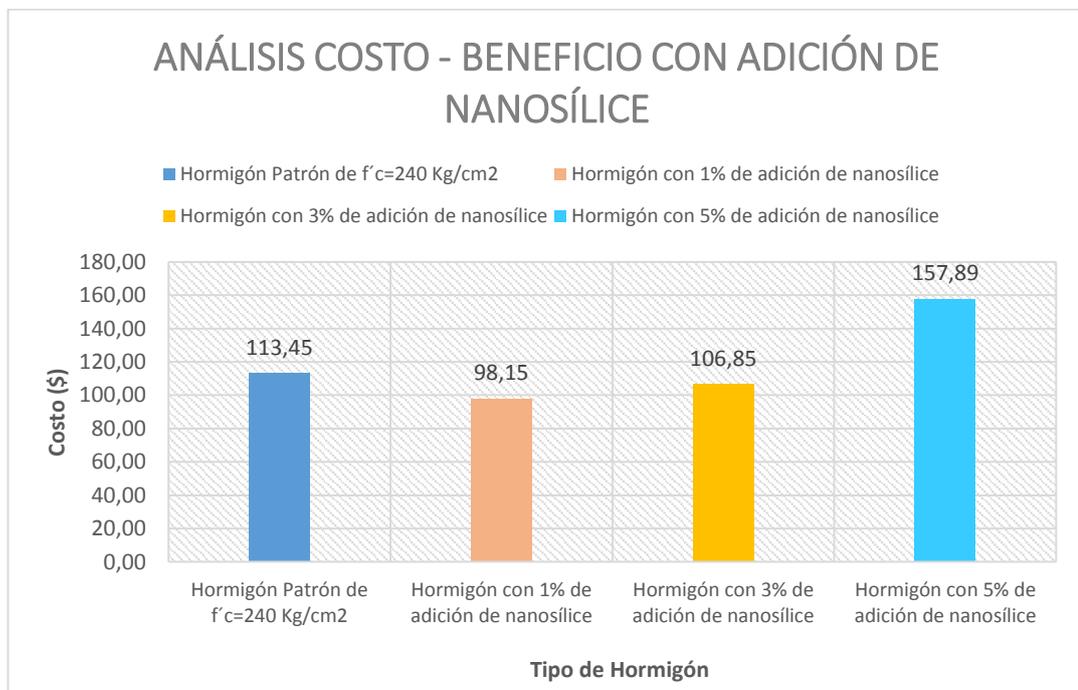
Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 52. Análisis costo – beneficio por m³ hormigón con adición de silicato de sodio



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Gráfico 53. Análisis costo – beneficio por m³ hormigón con adición de nanosílice



Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Análisis de resultados: De acuerdo a la tabla 92, al gráfico 52 y gráfico 53, se realizó un análisis comparativo costo – beneficio por cada m³ de hormigón patrón de $f'c=240$ Kg/cm² cuyo valor unitario es de 113.45 dólares sin incluir el IVA. Realizando una correlación entre la resistencia obtenida y el precio unitario de cada hormigón con adición de silicato de sodio y nanosílice para compararlo con el valor referencial. De la cual se determinó con el 4% de adición de silicato de sodio un coste equivalente de 116.60 dólares, denotándose un valor mayor por m³ de 2.77% (3.15 dólares), con el 8% de adición de silicato de sodio un coste equivalente de 116.97 dólares, denotándose un valor mayor por m³ de 3.11% (3.52 dólares) y con el 12% de adición de silicato de sodio un coste equivalente de 118.45 dólares, denotándose un valor mayor por m³ de 4.41% (5.00 dólares) en comparación al hormigón patrón, lo cual nos dice que con el uso del silicato de sodio en todos sus porcentajes no existe un ahorro económico, sin embargo sus resistencias si se vieron incrementadas.

Mientras que para la adición de nanosílice con el 1% se determinó un coste equivalente de 98.15 dólares, denotándose un ahorro por m³ de 13.49% (15.30 dólares), con el 3% de adición de nanosílice un coste equivalente de 106.85 dólares, denotándose un ahorro por m³ de 5.81% (6.60 dólares) y con el 5% de adición de nanosílice un coste equivalente de 157.89 dólares, denotándose un valor mayor por m³ de 39.17% (44.44 dólares) en comparación al hormigón patrón.

Determinándose que la adición con 1% de nanosílice y 3% de nanosílice son las que presentan un ahorro económico siendo la más económica la del 1%, sin embargo hay que tener en cuenta que la adición de nanosílice con 3%, es la que presenta mayor aumento de las resistencias y mantiene un ahorro económico con respecto al valor referencial.

3.2 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis

La adición de silicato de sodio y nanosílice como sustitutivos parciales del cemento contribuirá en la resistencia a la compresión del hormigón tradicional.

Verificación de hipótesis

En base a los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los especímenes de hormigón se pudo confirmar la hipótesis planteada anteriormente. Verificándose que la adición de silicato de sodio y nanosílice como sustitutivos parciales del cemento mejoran la resistencia a la compresión en comparación con un hormigón tradicional de $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$. Obteniéndose valores de $276,577 \text{ Kg/cm}^2$ con el 8% de adición de silicato de sodio y de $355,308 \text{ Kg/cm}^2$ con el 3% de adición de nanosílice a los 28 días de curado con las dosificaciones óptimas.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Una vez obtenidos los resultados de los ensayos a los agregados pétreos mediante las normas NTE INEN Y ASTM se determinó que los agregados pétreos provenientes de la Mina Santa Isabel presentan buenas propiedades físicas y mecánicas aptos para el diseño de mezcla del hormigón tales como: una resistencia al desgaste del agregado grueso del 25.75%, una buena granulometría que se encuentra entre los límites establecidos en las normas, una densidad relativa mayor a 2.6 gr/cm³ y una capacidad de absorción con valores bajos, lo cual indica que el material es de buena calidad y por lo tanto se puedan llegar a obtener las resistencias requeridas.
- Una vez determinadas las resistencias a la compresión de cada uno de los especímenes elaborados con adición de silicato de sodio y nanosílice se determinó la ecuación potencial de predicción para cada una de ellas basándose en dos parámetros principales: En base a su resistencia de forma porcentual en fase temprana a los T días de edad (R) y en base a la edad en días del hormigón (T). Cuyas limitaciones de esta ecuación es que no toma en cuenta al índice de madurez el cual es un factor importante en la ganancia de resistencias, ya que se supone que la temperatura de curado se mantiene constante para todos los especímenes, y también hay que tener en cuenta que estas ecuaciones son mucho más efectivas cuando se trabajan con el mismo tipo o similares dosificaciones y materiales utilizados en este trabajo experimental. La ecuación potencial de predicción es: $R_{28} = R/(A*T^B)$.
- En función de los ensayos realizados y tomando como variables de referencia, la resistencia, asentamiento, consistencia y trabajabilidad, se obtiene que las dosificaciones óptimas se dan con el silicato de sodio al 8% y con el nanosílice al 3% debido a que estas presentan el mayor aumento de resistencias a la

compresión sin una variación significativa de su asentamiento, con una consistencia media y de buena trabajabilidad útil para losas, vigas y secciones medianamente reforzadas (construcción en general) para lo cual está enfocado esta investigación.

- Se determinó que conforme se va aumentando el porcentaje de adición de silicato de sodio (4%, 8%, 12%) aumenta progresivamente la resistencia a la compresión con los días de curado, sin embargo su asentamiento, consistencia y trabajabilidad se va viendo afectado. Por lo cual los mejores resultados se dieron al trabajar con la adición del 4% y del 8%, porque aumentan un 5.15% y 12.62% de su resistencia final a los 28 días respectivamente y los otros parámetros de análisis no se ven afectados.
- Conforme se aumenta el porcentaje de adición de nanosílice (1%, 3%, 5%) aumenta progresivamente la resistencia a la compresión con los días de curado, a excepción para la adición del 5% en la cual se aprecia un aumento de su resistencia en comparación al hormigón patrón pero menor en comparación a las otras adiciones del 1% y 3%, además que su asentamiento, consistencia y trabajabilidad se va viendo afectado, por lo cual los mejores resultados se dieron al trabajar con la adición del 1% y 3% porque aumentan un 29.57% y un 44.68% de su resistencia final a los 28 días respectivamente y los otros parámetros de análisis no se ven afectados.
- Se realizó un análisis costo-beneficio de las dosificaciones de silicato de sodio en las cuales se determinó que conforme aumenta el porcentaje de adición en la mezcla aumenta también el precio del hormigón por m³, al igual que su resistencia, asentamiento, consistencia y trabajabilidad. Determinándose que con el 4%, 8% y 12% de silicato de sodio su resistencia se ve aumentada en 5.15%, 12.62%, y 18.94% de su resistencia final respectivamente sin verse afectados los parámetros iniciales, más solamente para la adición del 12%. Denotándose en cada una de ellas con su coste equivalente un aumento en el precio unitario del 2.77%, 3.11% y 4.41% respectivamente del precio normal

del hormigón patrón. De las cuales ninguna presenta un ahorro económico pero presenta mayores aumentos de la resistencia a la compresión.

- Mediante un análisis costo-beneficio de las dosificaciones de nanosílice se determinó que conforme aumenta el porcentaje de adición en la mezcla aumenta también el precio del hormigón por m³, al igual que sus otras variables. Determinándose que con el 1%, 3% y 5% de nanosílice su resistencia se ve aumentada en 29.57%, 44.68%, y 15.28% de su resistencia final respectivamente sin verse afectados los parámetros iniciales, más solamente para la adición del 5%. Denotándose en cada una de ellas con su coste equivalente una disminución del precio unitario del 13.49%, 5.81% respectivamente y un aumento del precio unitario del 4.41% para la adición del 5% del precio normal del hormigón patrón. De las cuales la adición del 1% y 3% presentan un ahorro económico sin variación de sus parámetros iniciales lo cual sirve para abaratar los costos en la construcción, mientras que la del 5% aparte de no presentar ningún ahorro económico ni gran aumento de sus resistencias existe variación de sus parámetros iniciales por lo cual no es favorable.

- Se concluye que tanto el silicato de sodio como el nanosílice actúan como un agente endurecedor y acelerante en los componentes de la mezcla, dándole mayor resistencia y garantizando así el buen desempeño de las construcciones civiles a menor y gran escala siempre y cuando se controle sus propiedades en estado fresco (Asentamiento, Consistencia y Trabajabilidad).

- Se concluye que la dosificación con mejor rendimiento de resistencia y economía de entre las dosificaciones óptimas de silicato de sodio y nanosílice, es la de la adición con nanosílice al 3% debido a que presenta un aumento significativo de la resistencia a la compresión del 44.68% a los 28 días con respecto al del hormigón patrón, y por lo tanto presenta un ahorro del 5.82% por m³ de hormigón.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar buenos agregados pétreos de minas o plantas de trituración de buena fiabilidad para que los resultados de cada uno de los ensayos que se realicen cumplan con la norma NTE INEN con el fin de obtener un buen hormigón que alcance la resistencia requerida.
- Se recomienda que para utilizar el método para la determinación de las ecuaciones de predicción se realicen ensayos de los especímenes a analizar al 1, 3, 7, 14, 28 y 56 días de curado para tener resultados más precisos de la evolución de la resistencia con cada tipo de hormigón.
- Se recomienda utilizar plastificantes o superplastificantes cuando se añada silicato de sodio o nanosílice a las mezclas de hormigón, con el fin de hacerlo más trabajable y evitar el fraguado rápido de la mezcla sin afectar las propiedades finales del hormigón endurecido, debido a que estas adiciones actúan como agentes endurecedores que hacen menos trabajable la mezcla.
- Se recomienda que al momento del moldeo de las probetas se compacte lo mejor posible las capas necesarias y se den los golpes requeridos por Norma con el mazo de goma para una buena compactación y que su enrazado final sea lo más recto posible para que al momento de ensayarlas la carga que en esta se aplique se distribuya uniformemente y se obtenga mejores resultados.
- Se recomienda que al momento que se vaya a añadir las adiciones tanto de silicato de sodio como nanosílice a la mezcla se lo haga en conjunto con la última porción de agua, una vez que la mezcla ya esté húmeda para una mejor combinación de los materiales y por ende mejores resultados finales.
- Se recomienda el uso de estos tipos de hormigones para la construcción en general donde se requiera la elaboración de losas, muros, vigas, columnas y todo tipo de secciones medianamente reforzadas a menor o gran escala siempre y cuando se mantenga el control de sus propiedades en estado fresco para evitar problemas al momento de su colocación en obra.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Dávila, D. Da Costa y D. Duarte, «Efecto de la adición de nanosílice en cementos y concretos,» *Research Gate*, vol. 2, nº 3, pp. 1-16, 2017.
- [2] L. L. Morejón, «Morteros de cemento con adiciones de humo de sílice y nanosílice» Madrid: *UPM*, pp. 73- 75, 2015.
- [3] E. Sanchez, J. Bernal, N. León y A. Moragues, «Propiedades reológicas y mecánicas de un hormigón autocompactante con adición de nano-sílice y micro-sílice» *Revista ALCONPAT*, vol. 6, nº 1, pp. 1-14, 2016.
- [4] T. Zanon, R. Schmalz y F. G. S. Ferreira, «Evaluación de los efectos del nanosílice en hormigones sometidos a la acción de iones cloruros», *Revista ALCONPAT*, 8 (2), pp. 138 – 149, 2018.
- [5] V. C. Mamani, «Hormigones con Nano Adiciones y Fibras de Acero» Madrid:*UPM*, pp. 10-12, 2014.
- [6] V. R. Panqueva y N. A. Amaris, «Uso del silicato de sodio como adición natural del concreto hidraulico», Bogotá: Universidad de la Salle, 2009.
- [7] Diatom, «Silicato de Sodio,» Diatom, 12 03 2019. [En línea]. Available: <http://www.diatom.com.br/es-ES/productos/silicato/silicato-de-sodio>. [Último acceso: 28 10 2019].
- [8] I. Escalante y L. Espinoza, «Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del Cemento Portland ordinario,» *Nexo Revista Científica*, vol. 21, nº 01, pp. 11-18, 2008.
- [9] H. A. J. L. Luis Allauca, «Uso de sílice en hormigones de Alto Desempeño,» *Dspace*, vol. I, nº 2, pp. 2-3, 2010.
- [10] C. D. C, «Prevenir la Silicosis y las Muertes entre los Trabajadores de la Construcción,» Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH),

25 01 2015. [En línea]. Available: https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-112_sp/. [Último acceso: 22 10 2019].

[11] Holcim, «Portal Directa Cemento GU,» 12 08 2015. [En línea]. Available: https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf. [Último acceso: 23 10 2019].

[12] E. M. y. E. A. Rómel Solís, «Evaluación del concreto con bajas relaciones agua/cemento y agregados calizos de alta absorción,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, vol. 27, n° 4, pp. 43-50, 2012.

[13] J. C. Mauricio López, «Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo,» *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 25, n° 3, pp. 419 - 431, 2010.

[14] I. A. Polzinetti, «Cemento Portland,» de *Industrias I*, Buenos Aires, Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires, 2010, pp. 1-50.

[15] S. Kosmatka, «Portland, Blended, and other Hydraulic cements,» de *Design and control of concrete mixtures*, Saskatoon, Portland Cement Association, 2015, pp. 1-20.

[16] I. E. Normalización, «Cemento Portland. Requisitos,» de NTE INEN 152, Quito, INEN, 2010, pp. 1-16.

[17] I. E. Normalización, «Cemento Hidráulico. Requisitos de Desempeño para Cementos Hidráulicos,» de NTE INEN 2380, Quito, INEN, 2011, pp. 1-11.

[18] I. E. Normalización, «Cemento Hidráulicos Compuestos. Requisitos,» de NTE INEN 490, Quito, INEN, 2011, pp. 1-17.

[19] A. P. Rodríguez, *Manual de Prácticas de Laboratorio de Concreto*, Chihuahua: UACH, 2012.

[20] G. Guevara, «Efecto de la variación agua/cemento en el concreto,» *Tecnología en Marcha*, vol. 25, n° 2, pp. 81-86, 2012.

[21] I. E. Normalización, «Hormigón de Cemento Hidráulico. Agua para Mezcla,» de NTE INEN 2617, Quito, INEN, 2012, pp. 1-12.

- [22] V. Echeverry, «Efectos de las adiciones minerales en el concreto,» de *360 en Concreto*, Colombia, ARGOS, 2015, pp. 82-93.
- [23] M. Reich, «Silicatos,» de *Minerología de los Silicatos*, Santiago de Chile, SISIB, 2012, pp. 11-21.
- [24] M. Fernández, «Los aditivos,» de *Hormigón*, Valparaíso, Escuela Ingeniería en Construcción - UCV, 2015, pp. 23-35.
- [25] C. Lizarazo, E. Gonzáles, C. Arias y J. Guarguati, «Nanomateriales: Un acercamiento a lo básico,» *Medicina y Seguridad del Trabajo*, vol. 64, n° 251, pp. 109-118, 2018.
- [26] J. Alcaraz, «Microestructura del hormigón con adición de nano sílice,» Cartagena: UPCT, 2015.
- [27] Construmática, «Hormigón: Propiedades,» Intercom, 16 05 2018. [En línea]. Available:
https://www.construmatica.com/construpedia/Hormig%C3%B3n:_Propiedades.
[Último acceso: 01 12 2019].
- [28] J. Osorio, «Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión,» de *360 en Concreto*, Colombia, ARGOS, 2013, pp. 20-25.
- [29] Devnside, «Tipos y Niveles de Investigación,» 13 Octubre 2017. [En línea]. Available: <http://devnside.blogspot.com/2017/10/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>. [Último acceso: 14 Enero 2020].
- [30] J. Tobón, O. Restrepo y J. Payá, «Adición de nanopartículas al cemento potland,» Scielo, vol. 74, n° 152, pp. 1-15, 2016.
- [31] Quiminet, «Usos y aplicaciones del silicato de sodio líquido y sólido,» Quiminet.com, 10 Abril 2014. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-del-silicato-de-sodio-liquido-y-solido-27872.htm>. [Último acceso: 28 Diciembre 2019].
- [32] J. Rodríguez, «Nanosílice,» de *Nuevos Materiales y Sistemas para la Ejecución*, Coruña, UDC, 2013, pp. 45-79.

- [33] I. E. Normalización, «Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los ángeles» de NTE INEN 860, Quito, INEN, 2011, pp. 1-12.
- [34] ASTM, «*ASTM E11: Standard Specification for Woven wire Test Cloth and Test sieves,*» de *An American National Standard*, Whashington D.C., American Society for Testing and Materials, 2013, p. 1-7.
- [35] I. E. Normalización, «Áridos para Hormigón. Requisitos,» de NTE INEN 872, Quito, INEN, 2011, pp. 1-19.
- [36] ASTM, «*ASTM C33: Aggregates for Concrete,*» de *An American National Standard*, Whashington D.C., American Society for Testing and Materials, 2008, p. 1-9.
- [37] I. E. Normalización, «Áridos para Hormigón. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos,» de NTE INEN 858, Quito, INEN, 2011, pp. 1-19.
- [38] I. E. Normalización, «Áridos para Hormigón. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,» de NTE INEN 856, Quito, INEN, 2010, pp. 1-15.
- [39] I. E. Normalización, «Áridos para Hormigón. Determinación del contenido total de humedad,» de NTE INEN 862, Quito, INEN, 2011, pp. 1-10.
- [40] I. E. Normalización, «Cemento Hidráulico. Determinación de la densidad,» de NTE INEN 156, Quito, INEN, 2009, pp. 1-9.
- [41] M. Coro, «Determinación del módulo de rotura en vigas de hormigón, fabricado con materiales procedentes de la cantera San Roque, para $f'c=28$ Mpa,» T-UCE, Quito, 2014.
- [42] A. Zuñiga, V. Garcia, L. Álvarez y J. Carvallo, «Definición de funciones que permitan relacionar la resistencia a la compresión a los 28 días,» Dspace, vol. I, n° 4, pp. 1-9, 2016.

[43] A. Nistal, M. Retana y M. Ruíz, «Caracterización de variables para estudio de análisis de la resistencia a compresión simple del hormigón,» *Tecnología y Desarrollo*, vol. 10, n° 3, pp. 1-13, 2012.

[44] ASTM, « *ASTM C918: Standard Test Method for Measuring Early-Age Compressive Strength and Projecting Later-Age Strength,*» de *An American National Standard*, Whashington D.C., American Society for Testing and Materials, 2002, p.1-6.

[45] F. Sanchez y R. Tapia, «Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días» Trujillo: *UPAO*, pp. 63- 71, 2015.

ANEXOS

A1. Ensayos de los agregados pétreos

Ensayo de Abrasión del Agregado Grueso	
	
Fotografía 1. Masa de la muestra por el método de gradación B.	Fotografía 2. Colocación de la muestra en la máquina de los ángeles.
	
Fotografía 3. Retiro del material después de las 500 revoluciones.	Fotografía 4. Masa de la muestra retenida en el tamiz #12.

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Granulometría del Agregado Grueso



Fotografía 5. Agregado grueso a utilizar



Fotografía 6. Tamices a utilizar



Fotografía 7. Vertido del material por los tamices



Fotografía 8. Recolección de la cantidad de material retenido en cada tamiz

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Granulometría del Agregado Fino



Fotografía 9. Agregado Fino a utilizar



Fotografía 10. Tamices a utilizar



Fotografía 11. Vertido del material por los tamices



Fotografía 12. Ensayo de granulometría del agregado fino en la tamizadora

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Peso Volumétrico Suelto y Compactado del Agregado Grueso



Fotografía 13. Masa del molde



Fotografía 14. Peso volumétrico suelto



Fotografía 15. Peso volumétrico compactado



Fotografía 16. Peso del agregado grueso en condición suelta

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Peso Volumétrico Suelto y Compactado del Agregado Fino



Fotografía 17. Peso volumétrico suelto



Fotografía 18. Peso volumétrico compactado



Fotografía 19. Enrasado del agregado fino condición compactada



Fotografía 20. Peso del agregado fino en condición suelta

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Densidad Aparente Óptima de la Mezcla de Agregados



Fotografía 21. Porcentaje de mezcla 100% agregado grueso



Fotografía 22. Adición de porcentaje de arena en la mezcla



Fotografía 23. Mezcla de los agregados



Fotografía 24. Enrasado de la mezcla compactada de los agregados antes de su pesaje

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Densidad Relativa y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso



Fotografía 25. Preparación de la muestra sumergida en agua



Fotografía 26. Secado de la muestra hasta alcanzar el estado saturado superficie seca (S.S.S)



Fotografía 27. Peso de la muestra en S.S.S más la canastilla



Fotografía 28. Pesaje de la muestra en S.S.S para determinar su capacidad de absorción

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Densidad Relativa y Capacidad de Absorción del Agregado Fino



Fotografía 29. Preparación de la muestra hasta alcanzar el estado S.S.S



Fotografía 30. Colocación de la muestra (S.S.S) en el picnómetro



Fotografía 31. Eliminando los vacíos de la muestra en S.S.S más agua



Fotografía 32. Pesaje de la muestra en S.S.S para determinar su capacidad de absorción

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Determinación del contenido humedad de los agregados



Fotografía 33. Preparación de las muestras de agregado fino y grueso



Fotografía 34. Pesaje del agregado fino



Fotografía 35. Pesaje del agregado grueso



Fotografía 36. Colocación de las muestras en el horno para determinar su contenido de humedad

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

Densidad real del cemento



Fotografía 37. Colocación de la muestra de cemento en el picnómetro



Fotografía 38. Gasolina añadida



Fotografía 39. Peso de la muestra de cemento y la gasolina añadida



Fotografía 40. Peso de los 500 cm³ de gasolina

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

A2. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$

Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$



Fotografía 41. Medición de las dimensiones de los moldes cilíndricos



Fotografía 42. Tamizado de los agregados



Fotografía 43. Pesaje de cada uno de los agregados



Fotografía 44. Mezclado de los materiales



Fotografía 45. Determinación del asentamiento



Fotografía 46. Elaboración de cada uno de los especímenes de hormigón



Fotografía 47. Finalización de los especímenes de hormigón $f'c=240$ Kg/cm²



Fotografía 48. Desmolde de cada uno de los especímenes de hormigón



Fotografía 49. Colocación de los especímenes en la cámara de curado



Fotografía 50. Medición de la altura y diámetro de los especímenes a ensayar



Fotografía 51. Colocación de la probeta de hormigón en la máquina de compresión



Fotografía 52. Resultados obtenidos por la máquina de compresión

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

A3. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de silicato de sodio

Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de silicato de sodio



Fotografía 53. Medición del diámetro interior de los cilindros



Fotografía 54. Pesaje de los moldes cilíndricos vacíos



Fotografía 55. Pesaje de la adición de silicato de sodio



Fotografía 56. Dosificación al peso de cada uno de los materiales



Fotografía 57. Vertido de los agregados



Fotografía 58. Mezclado de los materiales



Fotografía 59. Adición de silicato de sodio en la mezcla



Fotografía 60. Determinación del asentamiento



Fotografía 61. Elaboración de los especímenes de hormigón con adición de silicato de sodio



Fotografía 62. Finalización de los especímenes de hormigón



Fotografía 63. Pesaje de los moldes llenos de hormigón en estado fresco



Fotografía 64. Desmolde de los especímenes antes de curarlos



Fotografía 65. Curado de los especímenes



Fotografía 66. Medición del diámetro de los especímenes previo su secado



Fotografía 67. Preparación de los especímenes antes de su ensaye



Fotografía 68. Especímenes de hormigón después del ensaye

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza

A4. Elaboración, curado y ensaye de los especímenes de hormigón $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de nanosílice

Hormigón $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de nanosílice



Fotografía 69. Toma de las medidas de los cilindros para el ensaye



Fotografía 70. Pesaje de los moldes cilíndricos vacíos



Fotografía 71. Pesaje de la adición de nanosílice



Fotografía 72. Dosificación al peso de cada uno de los materiales



Fotografía 73. Vertido de los materiales



Fotografía 74. Mezclado de los materiales



Fotografía 75. Adición de nanosílice en la mezcla



Fotografía 76. Determinación del asentamiento



Fotografía 77. Elaboración de cada uno de los especímenes de hormigón



Fotografía 78. Finalización de los especímenes de hormigón con adición de nanosílice



Fotografía 79. Pesaje de cada uno de los moldes llenos de hormigón con adición de nanosílice



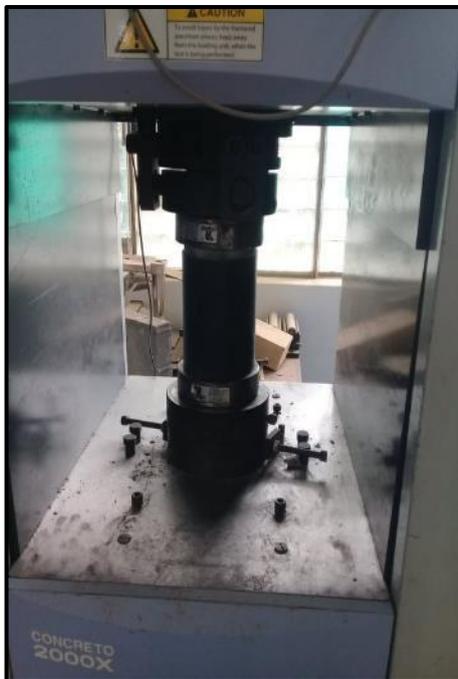
Fotografía 80. Desmolde de los especímenes antes de curarlos



Fotografía 81. Curado de los especímenes



Fotografía 82. Medición del diámetro de los especímenes previo su secado



Fotografía 83. Ensaye a compresión de los especímenes con adición de nanosílice



Fotografía 84. Resultados obtenidos en la máquina de compresión

Fuente: Egdo. Jefferson Caiza