



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Las partículas de nanosílice y su influencia en la
resistencia a la compresión del concreto
autocompactante en la ciudad de Huancayo - 2017**

para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Christian Raul Leon Arzapalo

Huancayo, 2018



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

MBA. Ing. Omar Augusto Hidalgo Quispe

AGRADECIMIENTO

A mi familia ha sido el fundamento de mi existencia, a ellos les debo lo que soy. Gracias a mis amados padres Héctor y Rosario, a mis hermanas Elena y Mariana por su incondicional apoyo, protección y motivación al logro de mis metas.

A mi asesor el Ing. Omar Augusto Hidalgo Quispe, quien me guio a realizar cada paso y procedimiento de la tesis absolviendo dudas y consultas las cuales se presentaron en la realización de la misma.

Por último, quiero dar las gracias a todos mis familiares y amigos, que de alguna u otra manera aportaron a mi desarrollo durante este largo proceso que ya culmina.

DEDICATORIA

A mis padres Héctor y Rosario, para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues son ellos a quienes debo todo lo que soy por su apoyo incondicional.

ÍNDICE

ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN.....	xv
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema	1
1.1.1.Planteamiento del Problema	1
1.1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3. Justificación e Importancia	4
1.3.1 Justificación Práctica	4
1.3.2 Justificación Teórica	4
1.3.3 Limitaciones y delimitación:	5
1.3.4 Importancia	6
1.4 Hipótesis y Descripción de Variables.....	7
1.4.1 Hipótesis de Investigación:	7
1.4.2 Hipótesis Nula:.....	7
1.4.3 Hipótesis Específicas:.....	7
CAPITULO II.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Antecedentes de la Investigación.	8
2.2 Bases Teóricas.....	17
2.2.1 Fundamentos Teóricos.....	17
2.2.2 Metodologías Existentes	20
2.2.3 Técnicas e instrumentos de investigación.....	21
2.2.4 Diseño de Modelo Teórico Conceptual.....	21
2.3 Definición de Términos Básicos	22
CAPITULO III.....	63
METODOLOGÍA.....	63
3.1. Método y Alcances de la Investigación	63

3.1.1 Según su Aplicación	63
3.1.2. Según su Fin.....	63
3.2 Diseño de la Investigación.	64
3.3 Población y Muestra.....	65
3.3.1 Población.....	65
3.3.2 Muestra	65
3.4. Variable de Investigación.	66
3.4.1. Variable Independiente.	66
3.4.2. Variables Dependientes.....	66
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	66
3.5.1 Técnicas Utilizados en la Recolección de Datos.....	66
3.5.2 Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos.....	68
3.6 Metodología del trabajo Experimental	68
3.7. Procesamiento de Datos	69
3.8. Procedimiento de Investigación	70
3.8.1 Agregados	70
3.8.2. Aditivo	72
3.8.3. Cemento	72
3.9. Ejecución de la Investigación.....	72
3.10. Ensayos Para Determinar la Propiedad de los Materiales.	73
3.10.1. Cemento.....	73
3.10.2. Agregados.....	75
3.11. Diseño de Mezclas de Concreto.	94
3.12 Ensayos al Concreto Autocompactante en Estado Fresco.	121
3.12.1. Slump.....	121
3.12.2. Tiempo de Fraguado.....	123
3.12.3. Ensayo de Ecurrimiento.....	124
3.12.4. Ensayo del Embudo V.....	127
3.12.5. Ensayo de Caja en L	130
3.13. Caracterización del Concreto Autocompactante en Estado Endurecido	134
3.13.1. Resistencia a la Compresión	134
CAPITULO IV	139
ANALISIS DE RESULTADOS.....	139
4.1. Resultados de los Ensayos Para Concreto en Estado Fresco.	139
4.1.1. Resultados Para Concreto de A/C = 0.4 y F'c = 280 kg/cm ²	139
4.1.2. Resultados Para Concreto de A/C = 0.5 y F'c = 210 kg/cm ²	145
4.1.3. Resultados Para Concreto de A/C = 0.6 y F'c = 175 kg/cm ²	150
4.2. Resistencia a la Compresión	155
4.2.1. Relación de a/c = 0.4 y Resistencia F'c = 280 kg/cm ²	155
4.2.2. Relación de a/c = 0.5 y Resistencia F'c = 210 kg/cm ²	157
4.2.3. Relación de a/c = 0.6 y Resistencia F'c = 175 kg/cm ²	159

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	161
4.3.1. Consistencia del Concreto Autocompactante.....	161
4.3.2. Resistencia a la Compresión.....	168
CONCLUSIONES.....	172
RECOMENDACIONES	173
ANEXOS.....	174
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de Diseño Experimental.....	22
Tabla 2. Clasificación de los Concretos de Alta Resistencia.	25
Tabla 3: Composición potencial de los compuestos y finura de los cementos Portland.....	28
Tabla 4. Evaluación de algunos criterios para la elección del tipo de cemento Portland a utilizar para elaborar concreto de alta resistencia.	28
Tabla 5. Composición química, compuestos y finura del cemento Portland Tipo I.	29
Tabla 6. Límites Permisibles para agua de mezcla y curado.	30
Tabla 7. Clasificación de los aditivos según su función.....	37
Tabla 8: Clasificación de aditivos químicos, según ASTM C-494.....	37
Tabla 9. Resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia como una función de la relación agua/cemento.	50
Tabla 10. Resumen de Propiedades Físicas y Químicas de la Nanosílice según su fabricante.....	56
Tabla 11. Elementos usados en el diseño de la investigación de la tesis.	65
Tabla 12. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.4 y F'c = 280 kg/cm ² , sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.....	67
Tabla 13. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.5 y F'c = 210 kg/cm ² , sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.....	67
Tabla 14. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.6 y F'c = 175 kg/cm ² , sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.....	68
Tabla 15. Resultados de los ensayos de las propiedades físicas del cemento.....	74
Tabla 16. Granulometría de la arena gruesa – muestra promedio.	77
Tabla 17. Resultado de Ensayos para Módulo de Fineza para la Arena Gruesa.....	78
Tabla 18. Resultado Ensayo Contenido de Humedad.....	80
Tabla 19. <i>Ensayo Peso Específico Arena Gruesa</i>	82
Tabla 20. Resultado de ensayo de características de peso específico para arena gruesa.	82
Tabla 21. Resultado de Ensayo de Características de Absorción para Arena Gruesa.	83
Tabla 22. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto para Arena Gruesa.....	84
Tabla 23. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado para Arena Gruesa.	85
Tabla 24. Granulometría Piedra Chancada – Muestra Promedio.....	86
Tabla 25. Módulo de Fineza de la Piedra Chancada.	88
Tabla 26. Cuadro de Resultados Ensayo de Humedad Piedra Chancada.....	89
Tabla 27. Resultado del Ensayo Peso Específico Piedra Chancada.	91
Tabla 28. Resultado de Ensayo de Absorción Piedra Chancada.....	91
Tabla 29. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto Piedra Chancada.	93
Tabla 30. Resultados de Peso Unitario Compactado Piedra Chancada.	94
Tabla 31. Datos de materiales para el diseño de mezclas.	94
Tabla 32. Requisitos del Agua Para la Mezcla.	95
Tabla 33. Diseño de mezcla para concreto f'c= 280 kg/cm ²	96
Tabla 34. Diseño de mezcla para concreto f'c= 280 kg/cm ² + 1% de Nanosílice.	97

Tabla 35. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.	98
Tabla 36. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 2\%$ de Nanosílice.	100
Tabla 37. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.	101
Tabla 38. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.	102
Tabla 39. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.	103
Tabla 40. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	105
Tabla 41. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosílice.	106
Tabla 42. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.	107
Tabla 43. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 2\%$ de Nanosílice.	108
Tabla 44. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.	109
Tabla 45. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.	111
Tabla 46. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.	112
Tabla 47. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	113
Tabla 48. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de nanosílice.	114
Tabla 49. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.	116
Tabla 50. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 2\%$ de Nanosílice.	117
Tabla 51. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.	118
Tabla 52. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.	119
Tabla 53. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.	120
Tabla 54. Resultados de Ensayo Slump para la Mezcla de Concreto de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	122
Tabla 55. Resultados de Ensayo Slump para Mezcla de Concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	122
Tabla 56. Resultados de Ensayo Slump para Mezcla de Concreto de $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	122
Tabla 57. Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 280$ kg/cm^2	123
Tabla 58. Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 210$ kg/cm^2	123
Tabla 59. Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 175$ kg/cm^2	124
Tabla 60. Resultados Escurrimiento de Ensayo de del Concreto para un $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	126
Tabla 61. Resultados de Ensayo de Escurrimiento del Concreto para un $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	126
Tabla 62. Resultados de Ensayo de Escurrimiento del Concreto para un $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	126
Tabla 63. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	130
Tabla 64. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	129
Tabla 65. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	130
Tabla 66. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	133
Tabla 67. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	133
Tabla 68. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	134
Tabla 69. Resultados ensayo a la compresión para relación $a/c = 0.4$ y $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	136
Tabla 70. Resultados ensayo a la compresión para relación $a/c = 0.5$ y $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	137
Tabla 71. Resultados ensayo a la compresión para relación $a/c = 0.6$ y $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	138
Tabla 72. Resultados del Ensayo Slump – $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	141

Tabla 73. Resultados del Tiempo de Fraguado para Concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	140
Tabla 74. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	142
Tabla 75. Resultados Obtenidos Para el Ensayo de Embudo en V para Concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	143
Tabla 76. Resultados Obtenidos Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	144
Tabla 77. Resultados del Ensayo Slump – $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	145
Tabla 78. Tiempo de Fraguado para Resistencia de 210 kg/cm^2	146
Tabla 79. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	147
Tabla 80. Resultado de Ensayo de Embudo en V Para Relación de Mezcla $a/c = 0.5$	148
Tabla 81. Resultado de Ensayo de Ecurrimiento Para Relación de Mezcla $a/c = 0.5$	149
Tabla 82. Resultados del Ensayo Slump – $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	150
Tabla 83. Tiempo de Fraguado para Resistencia de 175 kg/cm^2	151
Tabla 84. Tiempo de Fraguado para Resistencia de 175 kg/cm^2	152
Tabla 85. Resultados Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	153
Tabla 86. Resultados Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	154
Tabla 87. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.4$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	156
Tabla 88. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.5$ y $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	157
Tabla 89. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.6$ y $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	160
Tabla 90. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.	162
Tabla 91. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.	162
Tabla 92. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.	163
Tabla 93. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.	163
Tabla 94. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.	164
Tabla 95. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.	165
Tabla 96. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.	165
Tabla 97. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.	166
Tabla 98. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.	166
Tabla 99. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.	167
Tabla 100. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.	167
Tabla 101. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.	168
Tabla 102. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.	169
Tabla 103. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.	170
Tabla 104. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.	171

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Problemas que se presentan en el concreto autocompactante.	3
Figura 2. Plano de delimitación de la ciudad de Huancayo.	6
Figura 3: Efecto de la relación agua-cemento sobre la velocidad de deterioro del concreto expuesto a sales que contienen sulfatos.	20
Figura 4. Proporciones en Volumen absoluto de los Componentes del Concreto.	22
Figura 5. Micrografía de partículas de nanosílice en microscopio electrónico de transmisión.	54
Figura 6. Escalas de los diferentes componentes del concreto autocompactante.	54
Figura 7. Comparación de tamaño entre las partículas de microsilíce y nanosílice.	55
Figura 8: Ampliación de Pasta de Árido.	57
Figura 9. Esquema hidratación de los diferentes tipos de concretos.	58
Figura 10. Comparación de Pastas de Concreto sin Nanosílice y con Nanosílice.	59
Figura 11. Esquema de experimento y variables.	64
Figura 12. Diagrama del Diseño de Comparación Estática.	64
Figura 13. Esquema de relación de ensayos y diseño de mezcla.	69
Figura 14. Ubicación geográfica del banco de arena de Pilcomayo.	71
Figura 15. Ubicación geográfica de la planta chancadora de Pilcomayo.	72
Figura 16. Diagrama de etapas de trabajo para la ejecución de la investigación.	73
Figura 17. Ensayo de granulometría arena.	76
Figura 18. Curva granulométrica de la arena gruesa – muestra promedio.	77
Figura 19. Ensayo de humedad arena.	79
Figura 20: Ensayo del peso específico y absorción de la arena haciendo uso de una probeta graduada.	82
Figura 21. Ensayo Peso Unitario Suelto Arena.	84
Figura 22. Peso Unitario Compactado de la Arena.	85
Figura 23. Ensayo de Granulometría Piedra Chancada.	86
Figura 24. Representación de la curva granulométrica de la muestra promedio de Piedra Chancada.	82
Figura 25. Ensayo de Humedad Piedra (muestra húmeda y muestra secada al horno).	88
Figura 26: Ensayo del Peso Específico y Absorción de la Piedra Haciendo uso de la Canastilla. ..	90
Figura 27. Ensayo Peso Unitario Suelto del Piedra Chancada.	93
Figura 28. Ensayo Peso Unitario Compactado Piedra Chancada.	93
Figura 29. Materiales previamente pesados a utilizar en el mezclado.	121
Figura 30. Ensayo de Slump a la Mezcla del Concreto.	121
Figura 31. Ensayo Tiempo de Fraguado para las Distintas Mezclas de Concreto.	123
Figura 32. Cono de Abrams utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante.	125
Figura 33. Ensayo de Ecurrimiento del Concreto Autocompactante.	125
Figura 34. Embudo en V utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante.	127
Figura 35. Ensayo de Embudo en V para las Mezclas de Concreto Autocompactante.	129

Figura 36. Caja en L utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante. ..	131
Figura 37. Ensayo en caja en L para las distintas Mezclas de Concreto.	133
Figura 38. Resistencia a la compresión de testigos de concreto.....	135
Figura 39. Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación $a/c = 0.4$ - $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	140
Figura 40. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$	141
Figura 41. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Caja en L Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$	142
Figura 42. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Embudo en V para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$	143
Figura 43. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Escurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$	144
Figura 44. Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación $a/c = 0.5$ - $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	145
Figura 45. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.5$	146
Figura 46. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Caja en L Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.5$	147
Figura 47. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Embudo en V Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.5$	148
Figura 48. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Escurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.5$	149
Figura 49. Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación $a/c = 0.6$ - $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	151
Figura 50. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.6$	152
Figura 51. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Escurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.6$	153
Figura 52. Comparación de los Resultados de Ensayo de Embudo en V Para Mezcla de Concreto Autocompactante de Relación $a/c = 0.6$	154
Figura 53. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Escurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.6$	155
Figura 54. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.4$ - $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, según el número de días.....	157
Figura 55. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.5$ - $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, según el número de días.....	159
Figura 56. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.6$ - $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, según el número de días.....	161
Figura 57. Distribución F para Concreto de Resistencia $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	169
Figura 58. Distribución F para Concreto de Resistencia $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	170
Figura 59. Distribución F para Concreto de Resistencia $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$	171

RESUMEN

El presente trabajo de investigación “LAS PARTÍCULAS DE NANOSÍLICE Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE EN LA CIUDAD DE HUANCAYO – 2017”, tiene como objetivo principal establecer la correcta dosis del aditivo nanosílice, que influirá en la mejora de las propiedades del concreto autocompactante tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Para realizar a cabo este objetivo se propuso diseñar tres mezclas de concreto autocompactante con relaciones agua/cemento de 0.4, 0.5 y 0.6 según la metodología de diseño propuesta por el comité ACI 211.4 para resistencias a compresión de 280 kg/cm², 210 kg/cm² y 175 kg/cm², utilizando correctas dosificaciones de aditivo nanosílice, permitiendo mejorar las propiedades y características, para cada resistencia, además se tomará en cuenta los parámetros tales como el asentamiento de las mezclas en el rango de 5” para los concretos, de modo que nos permita evaluar las propiedades de trabajabilidad y consistencia de cada una de las mezclas.

Para establecer dosificaciones adecuadas de incorporación del aditivo de nanosílice, se realizarán ensayos, que nos permitan obtener mejores propiedades y características, para las mezclas de concreto que se diseñaran según la metodología del comité ACI 211.4, además se realizaran diferentes mezclas para definir el porcentaje de disminución de agua de mezclado que genera la adición del aditivo nanosílice.

Se procedió al vaciado de cada una de estas, para los cual se realizaron los ensayos correspondientes para el concreto en estado fresco: revenimiento (slump), trabajabilidad, tiempo de fraguado y temperatura, posteriormente se realizaron los ensayos para el concreto en estado endurecido: resistencia a la compresión a 1,3,7,14 y 28 días de edad.

ABSTRACT

The present research work "THE PARTICLES OF NANOSILICE AND ITS INFLUENCE ON THE RESISTANCE TO THE COMPRESSION OF THE SELF-COMPACTING CONCRETE IN THE CITY OF HUANCAYO - 2017", has as main objective to establish the correct dose of the nanosilica additive, which will influence the improvement of the properties of the self-compacting concrete in both fresh and hardened state.

To carry out this objective, it was proposed to design three self-compacting concrete mixtures with water / cement ratios of 0.4, 0.5 and 0.6 according to the design methodology proposed by the ACI 211.4 committee for compression strengths of 280 kg / cm², 210 kg / cm² and 175 kg / cm², using correct dosages of nanosilica additive, allowing to improve the properties and characteristics, for each resistance, also taking into account the parameters such as the settling of the mixtures in the range of 5 "for concrete, so that allows us to evaluate the properties of workability and consistency of each of the mixtures.

To establish adequate dosages of incorporation of the nanosilicate additive, tests will be carried out, which will allow us to obtain better properties and characteristics, for the concrete mixtures that were designed according to the methodology of the ACI 211.4 committee. In addition, different mixtures will be made to define the percentage of decrease in mixing water that generates the addition of the nanosilica additive.

We proceeded to empty each of these, for which the corresponding tests were performed for the concrete in its fresh state: slump, workability, setting time and temperature, then the tests were carried out for the concrete in the hardened state: resistance to compression at 1,3,7,14 and 28 days of age.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han intensificado las investigaciones acerca de los materiales que intervienen en la mezcla de concreto, esto a fin de mejorar las características y propiedades que poseen tales como: cemento, agregados, agua y aditivos, con este estudio se llegó a mejorar los procesos de diseños de mezclas, la cual a su vez condujo a la reducción de los costos en su producción.

Entre las últimas tecnologías desarrolladas en este campo, se encuentra el del estudio de la nanotecnología, donde él estudió del nanómetro se realiza a escalas microscópicas debido a que esta unidad posee medidas las cuales son favorables para el desarrollo de las propiedades y características del concreto.

El presente trabajo, tiene como objeto principal la determinación de la dosis adecuada de la nanosílice que influirá positivamente en el concreto autocompactante frente a la acción del periodo de tiempo, que afectan las propiedades de consistencia y resistencia de las mezclas, considerando los efectos superficiales, físicos y químicos, de esta acción en el concreto autocompactante.

Para determinar la dosis adecuada de partículas de nanosílice, que influenciará positivamente en la resistencia del concreto autocompactante, se realizará el trabajo a nivel experimental, el cual consiste en la elaboración de mezclas de concreto con distintos tipos de relaciones agua/cemento (0.4, 0.5 y 0.6), los cuales serán sometidos a efectos de compresión, ensayados a los días 1, 3, 7, 14 y 28 días, del cual se desprenderán dos tipos de análisis:

El primero está relacionado las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco, el segundo está relacionado con la resistencia de mezclas de concreto autocompactante.

El desarrollo de la tesis está conformado por cinco capítulos:

El capítulo 1, se desarrolla el planteamiento del problema, donde se describe los problemas, objetivos, variables e hipótesis del proyecto.

En el capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, donde se enfoca las referencias de tesis encontradas y definiciones de terminologías a utilizarse.

En el capítulo 3 se desarrolla la metodología de investigación donde se expone el diseño, población, muestra, desarrollo experimental, descripción y estudio de los materiales intervinientes en la mezcla de concreto.

En el capítulo 4 se muestran los resultados de los ensayos realizados en estado fresco, endurecido y los análisis estadísticos.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones respectivas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1. Planteamiento del Problema

La demanda cada vez mayor de espacio y crecimiento acelerado del sector de la construcción en la ciudad de Huancayo, está obligando a los constructores y diseñadores a pensar en el crecimiento vertical como la opción más viable a esta problemática, es por ello que en los últimos años se están construyendo grandes proyectos como edificaciones multifamiliares, galerías y centros comerciales, mucho más altos y con mayor exigencia en cuanto a las solicitaciones de concreto autocompactante.

El deterioro de concretos autocompactantes por cambios de temperatura son causas frecuentes en los problemas de superestructura e infraestructuras, los cuales no cumplen con su vida útil para los que fueron diseñados y construidas, desequilibrando el análisis de costo beneficio, para lograr esta condición y garantizar que las estructuras construidas mantengan sus prestaciones básicas de servicio (funcionalidad, estética y seguridad), es necesario enfocar el diseño de concreto autocompactante, no solo desde el punto de vista resistente, sino también desde el punto de vista durable, frente a los agentes medioambientales y agresivos a los que puedan estar sometidos.

Los daños producidos por estos cambios ambientales en el concreto autocompactante son internos, fundamentalmente por la fisuración y/o externos como el descascaramiento (desgaste superficial por la acción ambiental), la aparición de fisuras y el desprendimiento de láminas.

Debido a esta gran demanda en la ciudad de Huancayo, se plantea llevar a cabo la investigación mediante la inclusión adecuada del aditivo nanosílice, para mejoras las

propiedades en estado fresco y estado endurecido del concreto autocompactante; debido a que no existe mucho antecedente del uso de este material en la ciudad de Huancayo, que tiene un clima y agregados diferentes a otras localidades, las cuales afectan directamente a las características y propiedades del concreto autocompactante.

Se buscará obtener un concreto autocompactante de alta resistencia por encima de los 350 kg/cm^2 , mejorando los problemas tanto internos como externos antes mencionados, además se podrá utilizar en las edificaciones, para incrementar los niveles en los diferentes pisos (edificaciones más altas) y optimizar los espacios requeridos.

El avance acelerado en la tecnología de nuevas materias primas en la elaboración de aditivos y adiciones hace posible la producción de concretos autocompactantes con mejores propiedades de resistencia y durabilidad, hace unos años se hablaba de la microsílíce como componente indispensable para lograr concretos de alta resistencia, debido a que la microsílíce es un polvo muy fino que posee propiedades físicas y químicas increíbles, resumidas en su alta actividad puzolánica, pero su uso tiene un impacto negativo en el medio ambiente y en los operarios que lo manipulan generando enfermedades respiratorias y de la piel.

Es por eso que en la actualidad se ha desarrollado un material mil veces más pequeño, la nanosílíce, que se presenta en estado líquido y que posee mejores propiedades que la microsílíce, además de poseer una capacidad de plastificar al concreto en estado fresco reduciendo la relación agua-cemento y logrando mejores resultados en el estado endurecido, teniendo un impacto nulo en el medio ambiente, debido a que su comercialización, es en estado líquido, es así que la nanosílíce tiene grandes propiedades para lograr concretos de alta resistencia y también de alta performance.

La figura 1 muestra los distintos problemas que se presentan en los concretos autocompactantes.



Figura 1. Problemas que se presentan en el concreto autocompactante.

Fuente: <https://twitter.com/norteobras/status/665644200621379587>

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema General

- ¿Cuál será la dosificación adecuada de porcentajes de Partículas de Nanosílice, para elevar la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, diseñados con diferentes relaciones de agua/cemento?

1.1.2.2 Problemas Específicos

- ¿Qué cantidad de distribución de porcentaje de Partículas de Nanosílice, permitirá incrementar la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, elaborados con relación agua/cemento de 0.40?
- ¿Con que graduación de porcentaje de Partículas de Nanosílice, se potenciará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, producidos con relación agua/cemento de 0.50?
- ¿Cuánto será la repartición de porcentaje oportuna de Partículas de Nanosílice, que mejorará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, preparados con relación agua/cemento de 0.60?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Obtener la dosificación adecuada de porcentajes de Partículas de Nanosílice, para elevar la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes diseñados con diferentes relaciones de agua/cemento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Conseguir la distribución apropiada de porcentajes de Partículas de Nanosílice, que permita incrementar la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes elaborados con relación agua/cemento = 0.40.
- Encontrar la graduación conveniente de porcentajes de Partículas de Nanosílice, que potenció la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes producidos con relación agua/cemento = 0.50.
- Establecer la repartición beneficiosa de porcentajes de Partículas de Nanosílice, para mejorar la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes preparados con relación agua/cemento = 0.60.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1 Justificación Práctica

La investigación de la influencia de partículas de nanosílice en la consistencia y resistencia del concreto autocompactante, beneficiará al proceso de construcción de obras masivas de edificación en la ciudad de Huancayo, reduciendo el plazo de ejecución mediante la adecuada inclusión de los porcentajes de las partículas de nanosílice en las distintas relaciones de mezclas agua/cemento, generando la perdurabilidad de las estructuras a lo largo del tiempo y evitando futuros problemas en las características y propiedades del concreto, además como se hará el estudio de concreto autocompactante se buscara también el beneficio en la parte económica.

1.3.2 Justificación Teórica

El Perú es un país de constantes cambios climáticos producidos a lo largo del año, los cuales son más los cambios ocurridos en la sierra, para este proyecto haré el estudio en la ciudad de Huancayo, donde el concreto autocompactante no llega a adquirir la resistencia esperada para un periodo de tiempo pronosticado, generando que haya evidencia de fallas en las estructuras tales como (cangrejeras, fisuras y grietas).

El propósito de esta investigación es buscar el uso de las partículas de nanosílice como aditivo en las mezclas de concreto autocompactante, para mejorar sus

características y propiedades, a su vez se buscará mitigar el impacto ambiental generado por el desecho de la planta y por la disminución de la producción de aditivos sintéticos. La utilización de este aditivo proporcionaría, además, valor agregado a la resistencia del concreto y como consecuencia incrementaría el tiempo de durabilidad y economía de las construcciones que actualmente se ejecutan.

El presente estudio se realizará en la Ciudad de Huancayo entre los meses de Enero – Junio, debido a que el clima en estos meses en la ciudad de Huancayo presenta variación durante el día y noche en cuanto a las temperaturas, pero como los ensayos que se realizarán para determinar las características y propiedades, que poseen los materiales intervinientes en el diseño de mezclas de concreto autocompactante, se realizarán dentro de las instalaciones del laboratorio, estos estarán expuestos y evaluados bajo condiciones normales de temperatura, así mismo los vaciados y ensayos de las mezclas de concreto autocompactante, se realizaran durante la mañana, donde la variación de la temperatura no es tan extrema y esta no afecta las propiedades y características que poseen las mezclas de concreto autocompactante, por lo que, los cambios de temperatura extremo no influirán ni modificarán las propiedades y características que posee el concreto autocompactante, de modo que la variable temperatura no influirá significativamente dentro de este estudio.

1.3.3 Limitaciones y delimitación:

1.3.3.1. Espacial:

La investigación se realizará en la provincia de Huancayo, buscando mejorar la calidad y productividad del concreto autocompactante en las edificaciones, se basará según lo indicado en las normas:

- ✓ Norma Técnica Peruana (NTP).
- ✓ Sociedad Americana Para Materiales y Ensayos (ASTM).
- ✓ Instituto Americano del Concreto (ACI).
- ✓ Unidad de Normalización Española (UNE).

1.3.3.2. Temporal:

Las variaciones de temperatura, velocidad de viento y humedad relativa son de gran influencia en las propiedades del concreto autocompactante. Estos parámetros presentan diversas variaciones durante el transcurso del año, pero para efectos del presente estudio será evaluado bajo condiciones normales de laboratorio desde enero de 2018 hasta junio de 2018.

1.3.3.3. Conceptual

En la investigación el diseño de concreto autocompactante con aditivo en Huancayo, será elaborado facilitando la producción del concreto autocompactante con alta productividad.

El material a utilizar para el concreto patrón será el cemento portland tipo I, piedra chancada, arena gruesa y como aditivo se le añadirá, aditivo reductor de agua de alto rango, siguiendo las dosificaciones especificadas por el fabricante.

La investigación, será ejecutada con la obtención de un concreto patrón, el cuál será diseñada por el método del ACI 211.4, se variará las relaciones agua-cemento para cada mezcla, obteniéndose resistencias a la compresión a los 28 días de ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$), a los cuales se les incorporará por separado dosis de aditivo nanosílice, evaluándose en los estados:

(a) fresco, se evaluará sus propiedades y características.

(b) endurecido, se evaluará la resistencia frente al transcurso de días.

La figura 2, muestra la delimitación de la ciudad donde se realizará el estudio



Figura 2. Plano de delimitación de la ciudad de Huancayo.
Fuente: Google Maps.

1.3.4 Importancia

El concreto de alta resistencia es comúnmente utilizado para proveer la mayor perdurabilidad de una obra de edificación, evitando la aparición de fallas como son las grietas longitudinales, rajaduras en las caras de los muros y cangrejeras.

La utilización de la nanosílice como aditivo es empleado para cumplir el objetivo de incrementar la resistencia, debido a sus propiedades y partículas microscópicas que proveen que en las mezclas de concreto no se genere aire atrapado, conduciendo a que la cantidad de poros que se genera formen burbujas de aire atrapado, reduciendo afectando a la mezcla generando baja resistencia, generalmente es un cambio mayor económico proveyendo mayores ventajas.

Su aplicación en la industria de la construcción, no es masiva y coincide con el desarrollo de la baja resistencia.

El uso de la nanosílice como aditivo, sirve como protección y resistencia ante el paso del tiempo y ante las cargas que tendrá que soportar, además con el uso del concreto autocompactante se generara el incremento de mayor ahorro económico con respecto a los concretos ordinarios ya que reduce la mano de obra.

1.4 Hipótesis y Descripción de Variables

1.4.1 Hipótesis de Investigación:

- Hi: La dosificación adecuada de porcentajes de Partículas de Nanosílice, elevará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, diseñadas con diferentes relaciones de agua/cemento.

1.4.2 Hipótesis Nula:

- Ho: Una correcta dosificación de porcentajes de Partículas de Nanosílice, no intensificará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes, diseñados con diferentes relaciones de agua/cemento.

1.4.3 Hipótesis Específicas:

- H1: Distribuyendo apropiadamente, mayores porcentajes de Partículas de Nanosílice, se incrementará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes elaborados con relación agua/cemento = 0.40.
- H2: Graduando convenientemente, porcentajes intermedios de Partículas de Nanosílice, se potenciará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes producidos con relación agua/cemento = 0.50.
- H3: Repartiendo beneficiosamente, menores porcentajes de Partículas de Nanosílice, se mejorará la consistencia y resistencia a la compresión, en concretos autocompactantes preparados con relación agua/cemento = 0.60.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación. ARTÍCULOS CIENTÍFICOS.

(ROBAYO, R., P. SILVA, Y. y DELVASTO, S., 2016) “Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida”

El efecto de la adición de escoria de carbón sobre la resistencia a la compresión de los concretos autocompactantes (CAC) generaron resultados positivos donde se puede afirmar que la adición del 10%, 20% y 30% de este material como sustitución parcial del cemento generó un incremento en la resistencia a la compresión de las mezclas a partir de los 28 días de curado, en órdenes del 20,1%; 21,1% y 18,2%, respectivamente. Este comportamiento podría ser atribuido a dos factores típicos en este tipo de materiales silico-aluminosos; el primero de carácter químico y el segundo de carácter físico.

(ROBAYO, R., MATTEY, P., SILVA, Y. y DELVASTO, S., 2014) “Comportamiento en Estado Fresco y endurecido de un Concreto Autocompactante, Adicionado con Escoria de carbón, y Elaborado con Agregado Grueso de Concreto Reciclado”.

Evaluación del efecto de la sustitución parcial y total de los agregados naturales por agregados reciclados, obtenidos a partir de la trituración de residuos de la construcción y demolición sobre el comportamiento en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante, se llegó a la conclusión de que la incorporación de estos agregados reciclados no afecta significativamente el comportamiento en estado fresco de las mezclas, pero en cambio sí tiene influencia sobre el comportamiento en estado endurecido de los concretos, pues causa una disminución de la resistencia a la compresión de entre el 15% y 29%, además de un leve aumento de la cantidad de

poros permeables en función de la cantidad de agregado natural que fue sustituido por reciclado en porcentajes del 25, 50, 75 y 100 %.

TESIS INTERNACIONALES:

LEÓN BRITO, Néstor. *Influencia de la Adición de Nano Sílice en el Hormigón Autocompactable*. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 2012, 130 pp.

Objetivos.

- Evaluar los cambios que se producen en las propiedades en estado fresco de los distintos hormigones ensayados.
- Evaluar los cambios que se producen en las propiedades mecánicas de los hormigones estudiados.
- Determinar los cambios de la matriz porosa de los distintos hormigones ensayados.
- Determinar los cambios en los componentes hidratados de la matriz de cemento.

Metodología.

- Estudio y elección de las dosificaciones para hormigones según el objeto de estudio: hormigón convencional, un hormigón autocompactante sin adiciones y hormigones autocompactantes con la adición de nano – sílice.
- Evaluación de los hormigones, convencional y autocompactantes, en estado fresco en base a la normativa vigente y exigencias de la instrucción del hormigón estructural.
- Evaluación de las propiedades mecánicas de los hormigones, en estado endurecido, mediante el ensayo de resistencia a la compresión.
- Caracterización microestructural de los hormigones, mediante ensayos de resistencia a la compresión.
- Evaluación del comportamiento de los hormigones, frente a ensayos específicos enfocados a su durabilidad, como son los de resistividad eléctrica y penetración de cloruros.
- Estudio comparativo de los resultados obtenidos y establecimiento de relaciones entre la dosificación y el comportamiento de cada hormigón, de cara a poder fijar recomendaciones de uso.

Conclusiones.

- 1) La adición de nano sílice proporciona un aumento en la resistencia a la compresión de un hormigón autocompactable. A mayor porcentaje de adición mayor es el valor de la resistencia obtenida.
- 2) La adición de nano sílice mejora el comportamiento de los hormigones autocompactables frente a la penetración de iones de cloruro. Sin embargo, esta mejoría no es proporcional al porcentaje de adición, ya que no se apreciaron mejoras significativas, al duplicar dicho porcentaje de 2.5% al 5% de nano sílice. Desde el punto de vista comparativo, el hormigón convencional, ha mostrado un comportamiento ante cloruros mejor que el del hormigón autocompactable sin adición.
- 3) Los hormigones con adición de nano sílice presentan una menor proporción de portlandita. Esto confirma que el comportamiento puzolánico de la nano sílice, que reacciona con la portlandita del hormigón para convertirla en geles hidratados, con ello se consigue un hormigón menos sensible ante ataques de agentes agresivos.
- 4) Con la adición de nano sílice al hormigón autocompactable se logra un material con mayor grado de hidratación y por lo tanto mayor desarrollos de geles hidratados. Esto redundaría que es un hormigón más compacto y de mayor resistencia a la compresión.

JEREZ SÁNCHEZ, Juan. *Determinación de la Influencia Microsílice y Nanosílice en el Hormigón Sometido a Esfuerzos de Compresión*. Tesis (Ingeniero Civil). Concepción: Universidad Tecnológica de Chile, Facultad de Ingeniería, 2013, 51 pp.

Objetivos.

- Determinar las propiedades físico-químicas del microsílice y nanosílice.
- Analizar la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio referente a estudios de resistencia y compresión.
- Demostrar que el hormigón compuesto por nanosílice posee mayor resistencia a la compresión.

Metodología.

- Preparación de las mezclas de hormigón: Se efectuará de forma mecánica, de tres probetas cúbicas de 20 cm. de aristas, para el ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

- Determinación de la trabajabilidad de hormigones: Se buscó la trabajabilidad deseada de 5 ± 1 en la cual, la dosis de agua, se mantuvieron constantes para las muestras HP y HM. En caso de las muestras HN, la razón A/C cambiaron.
- Curado de probetas: Se aplicó desmoldante para prevenir la adherencia del hormigón con los moldes, se utilizaron moldes cúbicos de 20 centímetros de aristas, vaciando el hormigón en dos capas para evitar la segregación.
- Terminada el curado se ingresó a un cajón de curado, con el cuál se evita la pérdida de humedad por evaporación.
- Después de 20 horas las probetas fueron desmoldadas e ingresadas a piscinas de curado hasta cumplir la edad para ser ensayada.

Conclusiones.

- 1) Los materiales constituyentes de una mezcla de Concreto Autocompactable (CAC), deben ser evaluados aplicando las normas de calidad tradicionalmente utilizadas en El Salvador; los agregados deben cumplir los requisitos de calidad especificados en la norma ASTM C 33 y el cemento debe estar conforme a la norma ASTM C 150 ó ASTM C 595, en el caso del cemento puro o mezclado respectivamente.
- 2) El contenido de partículas pasantes la malla N° 100 son importantes, para obtener las características autocompactables de la mezcla, la puzolana presente en el cemento en cantidades aproximadas al 15%, mejoró en esta investigación la capacidad de fluir del concreto.
- 3) El aditivo nanosílice es fundamental en la obtención de fluidez y reducción de agua en mezclas de CAC; está compuesto de policarboxilatos modificados, que, por sus características químicas, producen un efecto estérico con un perímetro de influencia mayor, que los aditivos superplastificantes normales.
- 4) Las resistencias a la compresión a los 28 días registradas en promedio fueron de 420.19 kg/cm^2 y 531.89 kg/cm^2 , para la mezcla A y B respectivamente; superando los 350 kg/cm^2 , para el cual fueron diseñadas; esto es debido al alto contenido de finos de cemento utilizado para alcanzar las características de autocompactabilidad deseadas.

TESIS NACIONALES

SALVATIERRA HUINCHO, Edher. *Concreto de Alta Resistencia Usando Aditivo Superplastificante, Microsílice y Nanosílice con cemento Portland tipo I*. Tesis (Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011, 50 pp.

Objetivos.

- Determinar cualitativamente y cuantitativamente la mejora que se produce en la resistencia a la compresión, en el uso de micro sílice y nano sílice en el concreto.
- Determinar la dosificación, adecuada de micro sílice y nano sílice para obtener concretos de alta resistencia.
- Analizar y comparar los costos de concretos elaborados con micro sílice y nano sílice.

Metodología.

- Diseño del concreto patrón: Se utilizó el método de Peso Unitario Compactado Máximo, donde se obtuvo la relación arena gruesa/ piedra chancada = 53/47, con contenido de cemento = 560 kg/m³ empleándose relación a/c = 0.4 y un asentamiento de 3 a 4 pulgadas.
- Para el concreto con diseño con aditivo, se mantuvo la misma relación arena gruesa/ piedra chancada = 53/47, con un contenido de cemento constante de 560 kg/m³ dosis de relación a/c = 0.25 y dosis de aditivo de 27.78 cm³ (3% del peso del cemento) de superplastificante por kg de cemento.

Conclusiones.

- 1) Se ha logrado obtener un concreto de alta resistencia a la compresión, con un valor de 1423 kg/cm² a la edad de los 90 días y que además tiene la propiedad de ser un concreto autocompactado.
- 2) La dosis óptima de microsílíce encontrada es del 10% con la cual se obtiene la máxima resistencia a la compresión de 1420 kg/cm², para el caso de la nanosílíce es del 1% (968 kg/cm²) y para el caso de la combinación de microsílíce y nanosílíce es del 5% de microsílíce más el 0.5% de nanosílíce (1065 kg/cm²).
- 3) Los concretos con adiciones de microsílíce (10, 15 y 20%), reexportan resistencias la compresión superior a los concretos con adición de nanosílíce (1.0%, 1.5% y 2.0%), sin embargo, la adición de nanosílíce aumenta también la resistencia a la compresión del concreto, pero no de la misma magnitud que la microsílíce, su ventaja es el estado líquido y su uso en bajas dosis.
- 4) La nanosílíce mejora las características tanto en estado fresco como en estado endurecido del concreto en comparación al patrón, esto es beneficioso ya que al encontrarse en estado líquido su impacto al ambiente es nulo.

MOLINA VILLAR, Freddy. *Influencia de la Adición de Nanosílíce en las Propiedades de un Concreto de Alta Resistencia para la Ciudad de Arequipa*. Tesis (Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017. 221 pp.

Objetivos:

- Obtener la dosificación adecuada de nanosílice para diferentes resistencias de diseño de concretos de alta resistencia, con agregados y cementos de la ciudad de Arequipa.
- Evaluar las propiedades del concreto de alta resistencia con adición de nanosílice en estado fresco y endurecido.
- Analizar y evaluar el costo-beneficio de concretos de alta resistencia con distintas dosificaciones de nanosílice para una resistencia de diseño.
- Evaluar la capacidad del reductor de agua de aditivos nanosílice en concretos de alta resistencia en estado fresco.
- Realizar una comparativa de costo-beneficio entre el uso de la nanosílice y microsílice como aditivo de un concreto de alta resistencia.

Metodología:

- Estudio de los agregados que intervienen en las mezclas de concreto de alta resistencia.
- Diseño de las mezclas de concreto mediante la metodología del comité ACI 211.4.
- Estudio y elección de las dosificaciones para hormigones según el objeto de estudio: hormigón convencional, un hormigón autocompactante sin adiciones y hormigones autocompactantes con la adición de nano – sílice.
- Evaluación de los hormigones, convencional y autocompactantes, en estado fresco en base a la normativa vigente y exigencias de la instrucción del hormigón estructural.
- Evaluación de las propiedades mecánicas de los hormigones, en estado endurecido, mediante el ensayo de resistencia a la compresión.
- Caracterización microestructural de los hormigones, mediante ensayos de resistencia a la compresión.

Conclusiones:

- 1) Las mezclas elaboradas en esta investigación presentaron una trabajabilidad y cohesividad adecuada las cuales se determinaron a través del parámetro de revenimiento, obteniendo valores de revenimiento de 7" a 9 ½" en mezclas que no presentaron segregación, por lo que el uso de nanosílice es aceptado.
- 2) Se comprobó que conforme se aumenta la dosificación del aditivo nanosílice, el peso unitario en estado fresco se incrementa; en comparación con el peso unitario teórico se observó un incremento en el orden de 1.66% a 2.68%, y

obteniendo como valor máximo 2396.15 kgf/m³ para el diseño de 700 kg/cm² con una tasa de aditivo nanosílice de 1.2%.

- 3) Los resultados de resistencia a la compresión obtenidos a 28 días de edad, alcanzaron valores en el rango de 100.96% a 159.76% de la resistencia de diseño para las diferentes tasas de dosificación de aditivo comprendidas en la investigación. Siendo la más destacable la resistencia a la compresión de 670.98 kg/cm² (159.76%), lograda en el diseño $f'c = 420$ kg/cm² a una tasa de aditivo nanosílice de 0.8%, en veintiocho días.
- 4) Las resistencias a la tracción encontradas se incrementan conforme la tasa de aditivo nanosílice aumenta, en el mejor de los casos se obtuvo una resistencia a la tracción de 59.52 kg/cm², para el diseño de $f'c = 600$ kg/cm² a una tasa de aditivo nanosílice de 1.2%.

TESIS LOCALES

CHILENO YACHI, *Marlon. Relación del Aditivo Nanosílice en la Resistencia del Concreto en la Urbanización Chorrillos*. Tesis (Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2017. 167 pp.

Objetivos:

- Evaluar si el aditivo nanosílice mejora las características del concreto, en la Urbanización – Chorrillos, ciudad de Huancayo en el año 2016.
- Evaluar si el aditivo nanosílice en diversas dosificaciones afecta la resistencia del concreto para una determinada relación agua – cemento de 0.50, en la Urbanización Chorrillos. ciudad de Huancayo en el año 2016.
- Analizar el costo de un concreto con aditivo nanosílice y de un concreto convencional, en la Urbanización Chorrillos. ciudad de Huancayo en el año 2016.
- Determinar la diferencia que existe entre los testigos de concreto de 4"x8" y 6"x12" con aditivo Nanosílice en cuando al ensayo de resistencia a la compresión, en la Urbanización Chorrillos. ciudad de Huancayo en el año 2016.

Metodología:

- Preparación de las mezclas de hormigón: Se efectuará de forma mecánica, de tres probetas cúbicas de 20 cm. de aristas, para el ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.

- Determinación de la trabajabilidad de hormigones: Se buscó la trabajabilidad deseada de 5 ± 1 en la cual, la dosis de agua, se mantuvieron constantes para las muestras HP y HM. En caso de las muestras HN, la razón A/C cambiaron.
- Curado de probetas: Se aplicó desmoldante para prevenir la adherencia del hormigón con los moldes, se utilizaron moldes cúbicos de 20 centímetros de aristas, vaciando el hormigón en dos capas para evitar la segregación.
- Terminada el curado se ingresó a un cajón de curado, con el cuál se evita la pérdida de humedad por evaporación.
- Después de 20 horas las probetas fueron desmoldadas e ingresadas a piscinas de curado hasta cumplir la edad para ser ensayada.

Conclusiones:

- 1) Se estableció que el uso del Aditivo Nanosilice se relaciona en la resistencia del concreto, produciendo que la resistencia se incrementa de un $f'c = 388 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto convencional) a $f'c = 409 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nanosilice 1%) a $f'c = 432 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nanosilice 3%) a $f'c = 461 \text{ kg/cm}^2$ (Concreto con Aditivo Nanosilice 5%).
- 2) Se estableció que el uso del Aditivo Nanosilice en la mezcla de concreto mejora las características del concreto en estado fresco y endurecido.
- 3) Se estableció que el uso del Aditivo Nanosilice en la mezcla de concreto en diversas dosificaciones incrementa proporcionalmente la Resistencia a la Compresión del concreto para una Relación agua – cemento 0.50.
- 4) Se estableció que el costo de un metro cúbico del Concreto con Aditivo Nanosilice a comparación de un Concreto Convencional es más costoso.
- 5) Se determinó que los resultados de resistencia a la compresión de los testigos de concreto de 4" x 8" y 6" x 12" con Aditivo Nanosilice 5% son similares.

RODRÍGUEZ ORÉ, Kenye. *Aplicación del Concreto Autocompactante con Aditivo Incorporador de Aire Para el Estudio de Fisuras en las Losas de Concreto Armado*. Tesis (Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. 250 pp.

Objetivos:

- Estudiar la evolución de la Resistencia a la compresión con el uso de aditivo incorporador de aire en el diseño de concreto autocompactante en losas de concreto armado.

- Comparar cualidades de las piedras de canto rodado y chancada ante la fisuración del concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire en losas de concreto armado.
- Estudiar la presencia de fisuras no estructurales del concreto autocompactante con aditivo incorporador de aire en las losas de concreto armado.

Metodología:

- Para el manejo del enfoque de esta investigación se empleó el enfoque cuantitativo que usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.
- La investigación empleó el método deductivo, este método funciona a partir de principios generales y, con la ayuda de una serie de reglas de inferencia, se demuestran unos teoremas o principios secundarios.

Conclusiones:

- (1) El uso de aditivo incorporador de aire disminuye ligeramente las resistencias a la compresión en los concretos debido a la inclusión de moléculas de aire que ocasionan cuerpos vacíos, pero esto no afectó con la baja dosis de 0.02% empleada en los concretos autocompactante debido a que se lograron resistencias altas que representan valores de 738.31 kg/cm² y 664.37 kg/cm² a los 28 días utilizando piedra chancada y piedra canto rodado respectivamente.
- (2) En cuanto a las losas aligeradas, las mezclas con contenido de piedra canto rodado presentan mayor área de fisuramiento desde el primer día del colocado de los concretos, evidenciándose un aumento en el área de fisuramiento a lo largo de los 28 días. Para este tipo de losas la piedra chancada contrarresta mejor las fisuras.
- (3) El usar los aditivos superplastificante Master Glenium SCC 3800 e incorporador de aire reducen notoriamente la presencia de fisuras por retracción plástica y asentamiento plástico en las primeras horas, además contrarrestan la aparición de fisuras por contracción térmica y retracción por secado durante el primer mes de las losas de concreto armado.
- (4) El crecimiento de la longitud de las fisuras es acelerado en los 7 primeros días de edad para todos los tipos de concretos utilizados en los vaciados de las losas. La losa que presentó mayor longitud en fisuración con 319.10cm/m² fue la losa aligerada vaciada con concreto convencional y piedra canto rodado.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Fundamentos Teóricos

El desarrollo en la tecnología del concreto aplicado en las construcciones de hoy en día trae consigo un especial interés en el estudio y valoración de las propiedades mecánicas y físico-químicas en el concreto endurecido durante toda su vida útil. La innovación tecnológica en la industria química de aditivos, específicamente de los superplastificantes, dirigida hacia los materiales de construcción como el concreto. Hace posible la aparición a finales de la década de los ochenta en Japón bajo la dirección del Profesor Okamura, de la Universidad de Tokio, de un revolucionario concreto capaz de autocompactarse, siendo su designación más común la de Hormigón Autocompactante – HAC (Self Consolidating Concrete – SCC, según su sigla en inglés) (Vargas & Sciarraffia, 2006, p.57).

“La característica de la mezcla del concreto autocompactante es su capacidad para llenar completamente y sin segregación la forma del moldaje y/o encofrado y lograr consolidarse sin la necesidad de aplicar ningún tipo de energía” (Vargas & Sciarraffia, 2006, p.57).

Los elementos estructurales, vaciados con mezclas de concreto autocompactante presentan ventajas constructivas y estructurales, motivando en el ámbito de la construcción formal como en la autoconstrucción, su uso en la construcción de edificios de gran altura, simplificando el diseño y descuidos en el proceso de construcción. (Ramírez de Alba, De León & Valdez, 2011, p.2).

La utilización de aditivos fluidificantes basados en ligno sulfatos, sin apenas purificar, procedentes de los residuos industriales de la fabricación del papel, aunque su rendimiento no era aceptable, debido a que tenía efectos secundarios negativos, más tarde se reemplazaron por superplastificantes, provenientes de polvo de sílice con mejores resultados en la trabajabilidad y manejo de las mezclas para concretos de alta resistencia. (García & Borralleras, s.f. p.2).

En el año de 1970, se comenzaron a utilizarse los primeros superfluidificantes procedentes de Japón y Alemania, estos superplastificantes, cuya composición química, estaba basada en formaldehído naftaleno sulfonatos se desarrollaron en Japón, con resultados espectaculares, logrando incrementar la resistencia del concreto convencional. (García & Borralleras, s.f. p.3).

La primera edificación en la cual se empleó concreto autonivelante, fue en España en la construcción de la Torre de Europa en 1982, en su cimentación muy armada, se utilizó concreto autonivelante, dando increíbles resultados para la calidad del

propio concreto, reduciendo la cantidad de agua en el orden del 25%, sin efectos secundarios negativos y permitiendo la rapidez, facilidad y garantía en la ejecución. (García & Borralleras, s.f. p.3).

Con la entrada de los aditivos superplastificantes hecho a base de nanosílice, se redujeron considerablemente los errores de ejecución, mejorándose la calidad del hormigón producido, ya que este no dependía de su consistencia, sino de la relación agua/cemento. En consecuencia, el cono de Abrams comenzó a perder protagonismo y quedó solamente como medida de control de obra. (García & Borralleras, s.f. p.3).

Son conocidos los parámetros que influyen en el concreto de alta resistencia, del mismo modo las exigencias sobre la confección de estructuras y elementos más durables, aumentan progresivamente. La durabilidad de este concreto, depende en primer grado, de la formulación de este, en ese sentido, los parámetros básicos, son la relación agua/cemento, así como la cantidad de cemento introducido, parámetros que son controlables en el diseño de mezcla y, por lo tanto, en cierta manera, previsibles. En segundo plano aparece el factor grueso, puesto en obra, sin duda alguna, una perfecta formulación del hormigón puede perder todas sus propiedades debido a una mala puesta en obra, reduciendo la durabilidad del concreto, ya que este es un parámetro no controlable ni previsible, la ejecución queda en manos del operario de obra, que en la mayoría de casos no entiende o desconoce los parámetros que pueden afectar positivamente o negativamente a las propiedades del concreto que manipula. (García & Borralleras, s.f. p.4).

El concreto autocompactante se caracteriza, por su capacidad de fluir dentro de los encofrados por la acción de su propio peso sorteando los obstáculos, lo que se traduce en grandes ventajas en el proceso de puesta en obra. Entre las ventajas que han convertido al concreto autocompactante en una de las mayores innovaciones dentro de la tecnología del concreto se destacan la posibilidad de eliminar, el trabajo de compactación, reduciendo los tiempos de la construcción, minimizar la contaminación acústica, mejorar la homogeneidad del material, facilitar las operaciones en obra generando ahorros en personal y equipos, el acceso a zonas densamente armadas y lograr una excelente terminación superficial. (Zerbino, 2012, p.2).

El uso del aditivo reductor de agua de alto poder es imprescindible para la confección de un concreto de alta resistencia, no todos los tipos son utilizables, los aditivos basados en naftaleno y partículas de sílice, ofrecen suficiente poder reductor de agua

y en consecuencia son capaces de reducir el agua en valores de hasta el 40%, permitiendo tener mayor trabajabilidad en las mezclas de concreto. (BASF The Chemical Company, 2009, p. 6).

Los aditivos reductores de agua de alta actividad, proporcionan una elevada trabajabilidad manteniendo una relación baja de agua/cemento, de manera, que se garantice un buen desarrollo e las propiedades mecánicas y durabilidad en el concreto autocompactante, su empleo es absolutamente indispensable, y en la mayoría de casos, los superplastificantes, de nueva generación policarboxilatos son los únicos capaces de satisfacer los elevados requerimientos de reducción de agua en estos tipos de concretos, cabe destacar que la capacidad de reducir el agua de estos aditivos llega hasta un 40%, estos aditivos, permiten que el concreto acceda en elementos con alta cuantía de acero de refuerzo facilite el vaciado de grandes superficies con economía. (ARRÉS, s.f. p.31).

La compatibilidad de los cementos Portland y aditivos superplastificantes es otro factor importante a considerar a la hora de seleccionar la mejor combinación de cemento – aditivo, especialmente cuando se trabaja a bajas relaciones de agua/cemento, una inadecuada y prematura pérdida de autocompactabilidad, un bajo efecto de fluidificación, segregación o exudación, excesivo retraso de fraguado, pérdida de aire ocluido e incluso una elevada incorporación de aire pueden ser consecuencias de un problema de compactibilidad entre el cemento y aditivo. (ARRÉS, s.f. p. 31).

En concretos autocompactantes, la fluidez, la capacidad de paso y resistencia a la segregación, son fundamentales, pero en general las dos primeras se oponen a la última. Para lograr que un concreto autocompactante desarrolle alta resistencia, se requiere que la mezcla sea menos viscosa, a modo que se desarrolle la mayor cantidad de resistencia al pasar los días (Zerbino, et al., 2006, p. 56).

En el Perú, especialmente en la ciudad de Huancayo, no es frecuente el empleo de aditivos superplastificantes, debido al desconocimiento sobre su uso y potencialidades, ya que al no ser un producto de gran disponibilidad y consumo en el mercado local, son relativamente pocos los profesionales que tienen la posibilidad de emplearlos e investigar para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido (trabajabilidad, tiempo de fraguado y resistencia mecánica), debido a estas razones la informalidad en la fabricación y utilización del concreto es del 77% respecto a su producción total. (Pasquel, 2010, p. 34).

Los aditivos reductores de agua de alto poder, datan de la década de los años 30, mientras que los aditivos superplastificantes fueron fabricados en Japón en la década de los años 60, a partir de los formaldehidos naftalenos sulfonatados, a fin de producir concretos de alta resistencia, permitiendo grandes reducciones en el contenido de agua, y en Alemania, desde 1972, a partir de los formaldehidos metámina sulfonatados, a fin de desarrollar concretos fluidos es decir concretos con asentamientos mayores (Portugal, 2007, p. 52).

El uso de la relación de agua/cemento en el diseño de mezclas de concretos de alta resistencia, es muy importante para garantizar que las resistencias a la compresión sean superiores a los concretos convencionales, de tal modo que la influencia del tamaño máximo, la granulometría, textura superficial, forma, resistencia y dureza de los agregado, tipo y marca del cemento y aditivos juegan un papel muy importante. (Abanto, 2009, p.26).

La figura 3, muestra el efecto de la relación agua cemento sobre la velocidad del deterioro del concreto.

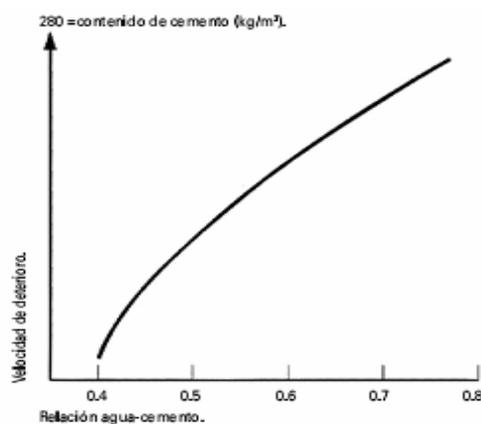


Figura 3: Efecto de la relación agua-cemento sobre la velocidad de deterioro del concreto expuesto a sales que contienen sulfatos.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto, 2006.

2.2.2 Metodologías Existentes

Con el objetivo de recopilar el material que sea necesario para la realización de esta investigación, se comenzará con una fase exploratoria, comenzando con la recopilación de bibliografía relacionada al concreto autocompactante, los nano materiales centrándose el estudio en la nanosílice, material base de esta investigación. Se estudiará información respecto de los factores principales que afectan la durabilidad del concreto, de los cuales se seleccionará uno de ellos para realizar la parte experimental de esta investigación.

Una vez conocido el agente agresivo a utilizar en la experimentación, se definen el tipo de ensayo, procedimientos y análisis a realizar en el laboratorio, por lo que es necesario realizar una planificación de estos de acuerdo a los objetivos que se quiere alcanzar en esta investigación, se expondrá el concreto con nano moléculas de nanosílice a este agente y se analizarán los efectos producidos en él.

Se procederá a la preparación de probetas que serán utilizadas en el ensayo y los análisis acordes con la investigación. Se realiza un ensayo de inmersión de testigos de concreto.

Luego de realizado los análisis se deberá hacer una acabada discusión y comparación de los resultados, para poder elaborar las conclusiones de esta investigación.

La investigación por su finalidad es de tipo aplicada, utiliza el nivel explicativo, es de tipo Experimental.

2.2.3 Técnicas e instrumentos de investigación

2.2.3.1 Técnicas:

- Observación
- Investigación bibliográfica
- Ficha de Registro de datos.

2.2.3.2 Instrumentos:

- Fichas de observación
- Prensa Hidráulica.
- Marcas.
- Registro de observación
- Cuaderno de notas
- Cámara fotográfica
- Filmadora.

2.2.4 Diseño de Modelo Teórico Conceptual

Utiliza un diseño experimental, con post prueba, ya que se medirá el grado de influencia de la variable independiente que son las partículas de nanosílice sobre la dependiente que son los testigos de concreto autocompactantes.

En la tabla 1, se muestra el esquema de diseño experimental utilizado en la presente investigación.

Tabla 1. Esquema de Diseño Experimental.

Grupo	Variable Independiente	Post - Prueba
Grupo de Control Concretos Tradicionales de relación a/c = 0.4, 0.5 y 0.6, sin Adición de Nanosílice	---	Sin Nanosílice Pp: Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.4, con Adición de Nanosílice	X ₁ Dosis de Nanosílice 18.07; 13.10; 8.19; 4.91; 3.94 y 3.28 lt/m ³	Pp ₁ : Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.5, con Adición de Nanosílice	X ₂ Dosis de Nanosílice 27.03; 19.66; 12.29; 7.37; 5.91 y 4.92 lt/m ³	Pp ₂ : Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.6, con Adición de Nanosílice	X ₃ Dosis de Nanosílice 36.02;26.20;16.38;9.82; 7.88 y 6.56 lt/m ³	Pp ₃ : Consistencia y Resistencia.

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Definición de Términos Básicos

2.3.1 Concreto

El Concreto es una mezcla de piedra, arena, agua y cemento que al solidificarse constituye uno de los materiales de construcción más resistente para hacer bases y paredes, la combinación entre la arena, el agua y el cemento en algunos países latinoamericanos se le conoce como mortero, mientras que cuando el concreto ya está compactado en el lugar que le corresponde recibe el nombre de hormigón.

La figura 4 muestra los componentes que intervienen en las mezclas de concreto.



Figura 4. Proporciones en Volumen absoluto de los Componentes del Concreto.

Fuente. UPC, Tecnología del Concreto 2015.

2.3.2. Concreto Autocompactante.

Conocido también como concreto autoconsolidante, es un concreto altamente fluido sin segregación, que puede ser extendido en sitio, llenando la formaleta y encapsulado el refuerzo, sin ningún tipo de consolidación mecánica.

2.3.2.1. Capacidad de Relleno

Es la capacidad que tiene el concreto de fluir y rellenar el encofrado bajo la acción de su propio peso, garantizando el cubrimiento total de las armaduras.

2.3.2.2 Capacidad de Paso

Es la propiedad del concreto para fluir entre las armaduras, obstáculos o estrechos entre los encofrados, sin producir segregación entre sus componentes, esta propiedad es sensible tanto a la distribución de armaduras como a la distribución del tamaño máximo del hormigón.

2.3.2.3. Trabajabilidad

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación del que se disponga. La trabajabilidad depende de:

- Dimensiones del Elemento
- Secciones Armadas
- Medios de puesta en obra.

Habrà una mayor trabajabilidad cuando:

- Contenga más agua.
- Más finos.
- Agregados redondeados
- Mas cemento.
- Fluidificantes / plastificantes.
- Adiciones

2.3.2.4. Consistencia

Denominamos consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. La consistencia depende:

Agua de Amasado.

Tamaño Máximo del Agregado.

Granulometría.

Forma de los agregados influye mucho en el método de compactación.

Tipos de consistencia:

Seca (De 0 a 2 cm).

Plástica (De 3 a 5 cm).

Blanda (De 6 a 9 cm).

Fluida (De 10 a 15 cm).

2.3.2.5. Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión del concreto normalmente se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto, aunque en estructuras especiales como túneles y

presas, o cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días.

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm. de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas.

2.3.2.6. Tiempo de Fraguado

El tiempo de fraguado se da desde el momento en que se elabora el concreto, dando principio a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, que conducen primero a la pérdida de fluidez y rigidización de la mezcla, y después a su endurecimiento y adquisición de resistencia mecánica.

2.3.3. Concreto De alta Resistencia (CAR).

La definición del concreto de alta resistencia ha evolucionado a medida que la resistencia del concreto utilizado ha aumentado, según el ACI un concreto de alta resistencia es aquel que alcanza una resistencia igual o superior a 500 Kg/cm^2 a los 28 días, las mezclas de este tipo de concreto se deben diseñar partiendo de una relación agua/cemento baja, para poder alcanzar altas resistencias, a este tipo de concreto usualmente se puede considerar de alto desempeño, pero para ello debe poseer también otras características como una apropiada trabajabilidad y durabilidad; para lograr eso generalmente se le debe adicionar un aditivo superplastificante.

Con el uso de los aditivos superplastificantes para disminuir las relaciones agua/cementantes en lugar de ser utilizados exclusivamente como fluidificantes para concretos convencionales, se encontró que los concretos con una relación agua/cementantes muy baja tenían también otras características mejoradas, tales como: consistencia más alta, módulo elástico más alto, mayor resistencia al esfuerzo a la flexión, permeabilidad más baja, mejor resistencia a la abrasión y mayor durabilidad.

La producción de este tipo de concreto requiere un mayor estudio de sus componentes y un control de calidad más exigente en comparación con el concreto normal o convencional.

2.3.3.1. TIPOS DE CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

La clasificación de los concretos de alta resistencia ha sido resultado de la combinación de la experiencia y los últimos avances en la tecnología del mismo; para clasificar este tipo de concreto, la escala de alta resistencia ha sido dividida en cinco clases diferentes, las cuales se definen por valores de resistencia a la

compresión, en un aumento de 25 MPa entre cada una de ellas, como se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los Concretos de Alta Resistencia.

Resistencia a la Compresión	MPa	50 – 75	75 – 100	100 – 125	125 – 150	150 a más
	Kg/cm ²	510 - 765	765 - 1020	1020 - 1275	1275 - 1530	1530 a más
Concreto de Alta Resistencia		I	II	III	IV	V

Fuente: P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”.

Los valores de resistencia a la compresión especificados para las diferentes clases de concreto de alta resistencia, no deben ser considerados como absolutos ya que corresponden a valores promedio obtenidos a 28 días; curados en condiciones estándar aplicadas en el curado del concreto convencional, se deberá tomar en consideración la desviación estándar de la producción del concreto.

Relación Agua/Cementantes (A/(C+P))

Originalmente este término se definió como la relación que existen entre el peso del agua utilizada para la mezcla y el peso del cemento, pero con el tiempo y la utilización de otros materiales cementantes para la Elaboración de mezclas, este término es conocido como relación agua /materiales cementicios (microsílice, cenizas volantes, puzolanas naturales, etc.).

La relación agua/cementantes es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto pues influye significativamente en la resistencia final de este; una relación agua/cementantes baja produce concretos con mayores resistencias que una relación agua/cementantes alta, por otra parte, entre más alta es esta relación, el concreto se vuelve más trabajable.

Según el Comité ACI 211.4 “Guía para la selección de las proporciones de concreto de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes” para elaborar concretos de alta resistencia la relación agua/cementantes debe oscilar entre 0.30 y 0.493, tomando en cuenta la resistencia requerida y el tamaño máximo de la piedra chancada a utilizar en la mezcla.

Aplicaciones del Concreto de Alta Resistencia

Debido a la evolución en los diseños de las estructuras y en los procesos constructivos, ha aumentado el uso de concretos de alta resistencia, ya que estos han proporcionado la solución más adecuada a muchos problemas; entre las principales aplicaciones de este tipo de concreto tenemos:

- ✓ Para poner en servicio elementos estructurales (vigas, columnas, losas, etc.) en menor tiempo, principalmente en carreteras.
- ✓ Construcción de edificios altos, reduciendo la sección transversal de las columnas, aumentando así el área útil.
- ✓ En la edificación de superestructuras como puentes con largos claros, mejorando la calidad de los elementos.
- ✓ Para satisfacer necesidades específicas en aplicaciones especiales como: durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión y flexión, para edificar estructuras como: presas, cubiertas de graderías, cimentaciones marinas, estacionamientos, pisos industriales de tráfico pesado, etc.

Ventajas y desventajas del uso del Concreto de Alta Resistencia.

Debido a que el concreto de alta resistencia puede ser usado en la construcción de muchos tipos de estructuras, este ha sustituido el empleo de otros materiales de construcción, a continuación, se presenta un cuadro con algunas de las ventajas y desventajas de sustituir algunos materiales de construcción por el uso de concreto de alta resistencia:

Ventajas

- ✓ Posibilidad de disminuir secciones transversales los elementos estructurales.
- ✓ Aumento de vida útil de la estructura del edificio.
- ✓ Rapidez en la construcción.
- ✓ Uso eficiente del cemento.
- ✓ Uso eficiente de la mano de obra.
- ✓ El peso propio global de la estructura es inferior, pudiendo suponer cierta reducción de la cimentación.

Desventajas

- ✓ Se requiere personal capacitado para su manejo.
- ✓ Sensible a las variaciones de las materias primas.
- ✓ Mayor precio unitario del material.
- ✓ Necesidad de utilizar aditivos para mejorar, las propiedades de trabajabilidad, de la mezcla para la colocación del concreto de obras.
- ✓ Se deben cumplir estrictamente todas las normas relacionadas a su diseño.
- ✓ Cualquier adición de agua, cemento o aditivo, en obra alterará su diseño, perjudicando la calidad del concreto.

2.3.4. Cemento

El cemento es un material finamente molido de color gris verdoso, el cual al mezclarse con agua tiene la propiedad de fraguar o endurecer; el cemento más conocido es el Cemento Portland, el cual surgió de las investigaciones de Joseph Aspdin, al calcinar a una temperatura elevada una mezcla de caliza y arcilla (Clinker), logrando un excelente aglomerante con propiedades hidráulicas; por lo tanto el Cemento Portland es un ligamento hidráulico que se obtiene al moler finamente el clinker de cemento Portland con un cantidad de yeso que está en el rango de 4 a 5 %.

Elección del tipo de cemento para la Elaboración de concretos de alta resistencia
La elección del tipo de cemento que se utilizara para la Elaboración de concreto de alta resistencia es la primera decisión crítica que se hará, esto a pesar de que se decida utilizar otro u otros tipos de materiales cementantes adicionales, ya que debido al aumento de resistencia a la compresión, el desempeño del cemento se vuelve fundamental en cuanto a la reología (la reología examina el comportamiento de los cuerpos sólidos, líquidos e intermedios entre ambos, que se deforman y fluyen por efecto de las fuerzas que actúan en ellos, es decir, cuerpos que tienen cierta plasticidad) y la resistencia.

Con la mayoría de cementos actuales se puede fabricar concretos de alta resistencia clase I, pero no todos estos cementos pueden utilizarse para fabricar concretos clase II, por lo que para fabricar concretos clase IV y V son muy pocos los tipos cementos que se pueden utilizar. Las diferentes marcas de un tipo de cemento ASTM se comportan de diferente modo cuando se fabrican concretos de alta resistencia, unos se comportan de manera adecuada en términos de resistencia final, pero lo hacen muy pobremente en términos de comportamiento reológico, o viceversa.

La reología de un cemento específico viene determinada por el control del C_3A (Aluminato Tricálcico, este contribuye al desarrollo de resistencia en los primeros días ya que es el primer compuesto en hidratarse), conforme más reactivo sea este compuesto más fácil será el control de su reología, o de otra manera entre menor sea la cantidad de C_3A en la composición química de un cemento se facilitara el control de su reología; desde la perspectiva de resistencia el cemento deberá estar finamente molido, y contener una cantidad justa de C_3S (Silicato Tricálcico, es el compuesto más abundante en el cemento y aporta principalmente las resistencias iniciales), para no afectar el comportamiento reológico.

Al analizar las propiedades químicas y los requisitos de los cinco tipos de cemento Portland según la norma ASTM C-150 “Especificación normalizada para los Cementos Portland”, se puede observar que ninguno de ellos posee las características ideales para fabricar concreto de alta resistencia, los cementos tipo II y V contienen la cantidad adecuada de C_3A , pero por lo general no son finamente molidos y su contenido de C_3S se mantiene bajo para disminuir el calor de hidratación; los cementos tipo III son adecuados en cuanto al contenido de C_3S , pero inadecuados en cuanto al contenido de C_3A y finura, en cuanto al cemento tipo I este presenta una finura correcta, pero en algunos casos los contenidos de C_3A pueden ser demasiado altos.

Tabla 3: Composición potencial de los compuestos y finura de los cementos Portland.

Tipo	Composición Potencial de los Compuestos del Cemento.				Finura Blaine
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	Promedio
I	54	18	10	8	399
II	55	19	6	11	377
III	55	17	9	8	548
IV	42	32	4	15	340
V	54	22	4	13	373

Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto. EB201. P.C.A.

Debido a que no existe en el mercado un cemento ideal para la producción de concreto de alta resistencia, ya que en algunos casos se usa el tipo I, en otros el tipo II y a veces el tipo III, la elección del cemento a utilizar debe apegarse a las consideraciones hechas anteriormente y se debe tratar de escoger el mejor cemento disponible (o el menos malo) ya que los requisitos de resistencia y reología se contradicen, en la tabla 2.4 se evalúan algunos criterios para la elección del tipo de cemento que se puede utilizar para la Elaboración de concreto de alta resistencia .

Tabla 4. Evaluación de algunos criterios para la elección del tipo de cemento Portland a utilizar para elaborar concreto de alta resistencia.

Tipo	Contenido de C_3A (Porcentaje Promedio)	Contenido de C_3S (Porcentaje Promedio)	Finura Blaine (Porcentaje Promedio)
Tipo I	Adecuado	Adecuado	Adecuado
Tipo II	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado
Tipo III	Inadecuado	Adecuado	Inadecuado
Tipo V	Adecuado	Inadecuado	Inadecuado

Fuente: P-C. AITCIN, “Concreto De Alto Desempeño”, Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá.

En Perú los tipos de cemento que se utilizan para fabricar concreto de alta resistencia son el Portland Tipo I.

Características del cemento Portland Tipo I

En el país el cemento Portland tipo I es fabricado en base a la norma ASTM C-150, este es un cemento hidráulico sin adiciones, es decir que está compuesto únicamente de clinker y yeso. El yeso permite la manipulación y colocación de las mezclas de concreto antes de que inicie el fraguado (endurecimiento), ya que, sin él, los concretos y morteros fraguarían excesivamente rápido y no podrían trabajarse.

Debido a las altas resistencias del cemento Portland TIPO I, éste es ideal para ser utilizado en concretos estructurales para la construcción de grandes obras, tales como: puentes, pasos a desnivel, edificios, elementos de concreto pre y post - tensado, etc.

De igual forma, debido al desarrollo de altas resistencias a la compresión a edades tempranas, es utilizado para la fabricación de productos de concreto, tales como: bloques, tubos, pilas, adoquines y otros prefabricados; en la tabla 2.5 se presentan algunas propiedades en la composición química del cemento Portland Tipo I.

Tabla 5. Composición química, compuestos y finura del cemento Portland Tipo I.

Tipo de Cemento Portland	Composición Química (%)						Na ₂ O	Composición Potencial de los Compuestos (%)				Finura Blaine m ² /kg
	Promedio.						Prom.	Promedio				(Promedio)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	20.5	5.4	2.6	63.9	2.1	3.0	0.61	54	18	10	8	369

Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto. EB201. P.C.A.

2.3.4. Agua.

Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, desempeña dos roles en su calidad de componente del concreto, el primero es que participa en el proceso de hidratación del cemento, la cual no puede tener lugar sin su presencia y luego otorga la trabajabilidad necesaria del concreto siendo determinante para definir su fluidez.

La tabla 6. muestra los límites permisibles para la aceptación del agua establecidos por la NTP.

Tabla 6. *Límites Permisibles para agua de mezcla y curado.*

Descripción	Límites Permisibles	
Alcalinidad	1000 ppm	Máximo
Cloruros	1000 ppm	Máximo
Materia Orgánica	3 ppm	Máximo
PH	De 5 a 8.	
Sólidos en Suspensión.	5000 ppm	Máximo
Sulfatos	600 ppm	Máximo

Fuente: NTP 339.088

2.3.5 Agregados

Piedra Chancada:

Las Piedras Chancadas adecuados para elaborar concretos de alta resistencia, consisten en gravas o una combinación de gravas o agregados triturados cuyas partículas sean predominantes mayores de 5 mm; muchos estudios han demostrado que al utilizar agregados gruesos con un tamaño máximo nominal de 9.5 mm a 12.5 mm., se obtienen resistencias más elevadas. Estos agregados deben cumplir con los requerimientos de la norma ASTM C – 33; la elección de la piedra chancada se vuelve más importante en cuanto aumenta la resistencia a la compresión de un concreto, las rocas duras y densas trituradas como la caliza, dolomita y rocas ígneas de tipo plutónico (granito, sienita, diorita, gabro, etc.), han sido utilizadas con éxito como piedra chancada en aplicaciones de concreto de alta resistencia.

La forma de la piedra chancada también es muy importante desde el punto de vista reológico, durante el proceso de trituración es primordial generar partículas de forma cúbica, en vez de placas y alargadas, ya que son débiles y tienden a producir mezclas duras que requieren más agua o aditivo superplastificante para lograr la trabajabilidad requerida.

Desde el punto de vista de forma y resistencias; los mejores agregados gruesos para elaborar concreto de alta resistencia son las gravas glaciares o mejor aún las gravas fluvioglaciares, porque generalmente están hechas de la parte más resistente y dura de las rocas trituradas por el glaciar, ya que estas han sido lavadas profundamente por el agua que fluye desde el glaciar que se derrite.

Este tipo de agregados no son fáciles de encontrar, y para este caso sería imposible encontrarlos debido a la zona geográfica en que se encuentra el país, debido a esto los agregados usados son las gravas fluviales, que aunque no son tan buenas como las glaciares o fluvioglaciares, por lo general sus partículas no son tan duras y resistentes, además su superficie es lisa debido a la acción de pulido a la que están

expuestas, generalmente su superficie no esta tan limpia, disminuyendo considerablemente la adherencia con la pasta de cemento, provocando fallas prematuras en el concreto.

Debido a esto la selección de la piedra chancada debe hacerse después de examinar con mucha atención la mineralogía y petrografía de las rocas de las que provienen los agregados, para asegurarse que todas las partículas son lo suficientemente resistentes para evitar fallas prematuras en el concreto de alta resistencia.

Como se ha mencionado la elección de la piedra chancada que se utilizara para la Elaboración de concreto de alto resistencia requiere un conocimiento amplio de las características del material, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para la elección de estos.

- ✓ Debido a la mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular, la piedra triturada produce resistencias mayores que la grava redondeada, pero la angulosidad acentuada debe ser evitada, ya que requiere altos contenidos de agua para presentar buena trabajabilidad, no es conveniente ya que aumentaría la relación agua/cemento o uso de superplastificantes en concretos de alta resistencia.
- ✓ Para concretos de alta resistencia, se considera que el agregado ideal debe ser 100% triturado, de perfil angular y textura rugosa, limpio, duro, resistente, poco absorbente, de preferencia con el menor porcentaje de partículas planas y alargadas.

Arena Gruesa:

La arena gruesa comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm, son pocos los estudios llevados a cabo para optimizar las características de la arena gruesa para aplicaciones en concreto de alta resistencia, generalmente la distribución del tamaño de las partículas de arena gruesa ha permanecido dentro de los límites recomendados para concreto normal por ASTM C-33, sin embargo la arena gruesa elegida debe de tener módulo de finura en el rango de 2.7 a 3.0.

El uso de arena gruesa se sustenta en el hecho de que, en todas las mezclas de concreto de alta resistencia, la cantidad de cemento y cementantes es alta, por lo tanto, existe una cantidad suficiente de partículas finas, y no es necesario el uso de arena fina para mejorar la trabajabilidad o evitar segregación, además, el uso de arena gruesa provoca una mínima disminución en la cantidad de agua de mezclado, es ventajoso en cuanto a la resistencia y permite un corte más fácil de la pasta de

cemento durante el mezclado. El uso de uno u otro tipo de arena es indiferente en cuanto a sus ventajas, siempre y cuando esta sea clara y no tenga arcilla o sedimentos, la arena natural debe contener una cantidad mínima de partículas de grosor mayor a 5 mm porque, generalmente estas partículas no son muy resistentes y pueden convertirse en un punto débil en el concreto. Debido a que la calidad de la arena gruesa para elaborar concretos de alta resistencia es muy importante, a continuación, se presentan algunas recomendaciones para escoger este tipo de agregado:

- ✓ Una arena gruesa con un perfil redondeado y una textura suavizada requiere menos agua de mezclado en el concreto, por esta razón es más recomendado el uso de este tipo de agregado cuando se requiere concretos con bajas relaciones agua/cementantes.
- ✓ Las arenas con módulos de finura por debajo de 2.5 dan concretos con consistencias densas, que los hace difíciles de compactar, por el contrario, las arenas con módulos de finura igual o mayor a 3.0 dan los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencias a la compresión; para concretos de alta resistencia se recomienda usar arenas con un módulo de finura cercano a 3.0.
- ✓ Para concretos con relaciones agua/cementantes bajos las cantidades de materiales cementantes son generalmente altas, por lo que, la granulometría de la arena gruesa no tiene mucha importancia.

2.3.5.1. Granulometría:

La curva granulométrica representa la proporción de los diferentes tamaños de partículas de agregados en el conjunto, y en realidad simplemente son un factor determinante en el acomodo de los granos de agregado, estas deben tener una relación con los factores externos e internos que generan este acomodo, los conceptos de acomodo.

2.3.5.2. Tamaño máximo:

El estudio del tamaño máximo de los agregados y su influencia en las propiedades del concreto han sido ampliamente investigados, para obtener una óptima resistencia a la compresión de los concretos con baja relación agua/cemento diversos investigadores han concluido que el tamaño máximo a utilizarse debe variar entre $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", no es recomendable usar tamaños mayores a 1". Los agregados con tamaño menor contribuyen a producir concretos más resistentes debido a una menor

concentración de esfuerzos alrededor de las partículas causados por la diferencia de módulos de elasticidad entre la pasta y el agregado.

2.3.5.3. Peso Específico:

El peso específico de los agregados depende tanto de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. El peso específico cobra especial importancia en los concretos especiales, dado que por requerimientos de resistencia es usual requerir un agregado con peso específico adecuado y no menor de lo convencional, pues agregados con bajas densidades generalmente indican material poroso, poco resistente y de alta absorción. Sin embargo, estas características de bajo peso específico pueden ser requeridas para concretos ligeros. El peso específico aparente del agregado depende de la densidad de los minerales que los componen, así como de la cantidad de poros que contengan.

La mayoría de los agregados naturales tienen una densidad relativa del orden de 2.6 a 2.7.

2.3.5.4. Poros y Absorción de los agregados:

La porosidad de los agregados, su impermeabilidad y absorción influyen en las propiedades como la adherencia entre el agregado y los materiales cementicios, la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como la estabilidad química y la resistencia a la abrasión. Como se mencionó anteriormente, la densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y, como consecuencia de esto, se ve afectado el rendimiento del concreto para determinado peso del agregado.

Los poros del agregado presentan una amplia variación de tamaño; los más grandes son visibles con un microscopio e incluso a simple vista, pero hasta los poros más pequeños suelen ser mayores que los poros del gel de la pasta de cemento. Los poros menores de 4 mm son de especial interés, ya que por lo general se cree que afectan la durabilidad de los agregados sujetos a frecuentes ciclos congelación-deshielo.

Algunos de los poros del agregado se encuentran completamente dentro del sólido, mientras otros se abren a la superficie de la partícula. Debido a su viscosidad, la pasta de cemento no puede penetrar a gran profundidad en los poros menos grandes; por lo tanto, es el volumen bruto de la partícula el que se considera como sólido para propósitos de cálculo del contenido de agregado en el concreto. Sin embargo, el agua puede penetrar en los poros y la tasa de penetración dependerá de su tamaño, continuidad y volumen total.

Está claro que la porosidad del agregado contribuye materialmente a la porosidad general del concreto. Por lo general se supone que, en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación del agregado se ha hecho cuando éste se encuentra seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no está incluida en el agua neta o efectiva de mezclado.

Sin embargo, es posible que cuando se utilice agregado seco las partículas se recubran rápidamente con pasta de cemento, lo que impide el paso del agua necesaria para lograr la saturación. Esto es especialmente cierto cuando se trata de piedra chancada, en el que el agua tiene que viajar un trecho mayor para penetrarlos. Como resultado de esto, la relación agua / cemento es mayor de lo que sería en caso de que los agregados hubieran absorbido el agua por completo desde el principio. Este efecto es muy importante en las mezclas con relaciones bajas agua/cemento las que contienen mayor cantidad de cemento en las que el recubrimiento de pasta ocurre con rapidez. En situaciones prácticas, el verdadero comportamiento de la mezcla se verá afectado solamente por el orden en que se vayan introduciendo los ingredientes a la mezcladora, es recomendable introducir una dosis de agua sobre los agregados antes del cemento.

2.3.5.5. Peso Unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29 y NTP 400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. Por ejemplo, para la piedra chancada, los pesos unitarios altos significan que quedan muy pocos huecos por llenar con arena y cemento.

2.3.5.6. Porosidad

Se define porosidad o contenidos de vacíos, al espacio no ocupado por las partículas de agregado en un volumen unitario.

Estas tres definiciones dependen de los siguientes parámetros principales:

- ✓ La gravedad específica de los agregados.
- ✓ El tamaño de los granos, granulométrica.
- ✓ La forma y textura de los granos.
- ✓ El grado de compactación, la manera de la cual es realizado el acomodo.
- ✓ El efecto pared ejercido por el recipiente donde se realiza la prueba.

Se conoce que, para medir estos valores, el agregado se debe encontrar en condición seca, pues tendrá el efecto de incrementar el valor del peso unitario de la piedra chancada y generará el efecto de abundamiento de la arena gruesa.

La compactación de un agregado no solo depende de las diversas características ya mencionadas, sino también de la compactación real a la que es sometido, por ejemplo, la compactación encontrada en el ensayo de peso unitario varillado nos da una característica del acomodo del agregado, este acomodo no será el mismo en la mezcla de concreto, las partículas de cemento ejercerán un efecto de lubricación de las partículas de agregado generando que la compactación será diferente.

2.3.5.7. Absorción

Es la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos superficiales.

2.3.5.8. Tamaño Máximo

Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado.

2.3.5.9. Tamaño Máximo Nominal

Corresponde al menor tamiz en el cual se produce el retenido.

2.3.5.10. Módulo de Fineza

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenidos acumulados } (1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50 \text{ y } N^{\circ}100)}{100}$$

2.3.5.11. Densidad de Agregados

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

2.3.5.12. Porosidad

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

2.3.5.13. Porcentaje de Vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29.

$$\% \text{ de vacios} = \frac{(S * W - P.U.C.) * 100}{S * W}$$

2.3.5.14. Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(\text{Peso Natural} - \text{Peso Seco}) * 100}{\text{Peso seco}}$$

2.3.6. Aditivos.

Según el ACI 116.R, los aditivos son materiales distintos del agua, agregados, cemento hidráulico, y adiciones que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que se adecuen mejor a las condiciones de trabajo, haciendo posible un adecuado transporte, comportamiento durante y después de colocado o para reducir los costos de producción.

El término “aditivo”, abarca un amplio campo de materiales y productos; algunos de los cuales son generalmente muy usados, mientras otros tienen una aplicación limitada.

Clasificación de los aditivos.

Los aditivos se pueden clasificar de distintas formas, esto depende de las características de cada tipo.

La tabla 7, presenta una clasificación basada en la función que el aditivo realiza en la mezcla de concreto:

Tabla 7. *Clasificación de los aditivos según su función.*

TIPO DE ADITIVO	DESCRIPCIÓN
Aditivos inclusores de aire.	Se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto, mejorando la durabilidad que estarán expuestos a ciclos de congelación y deshielo.
Aditivos reductores de agua.	Se emplean para disminuir la cantidad de agua de mezclado requerida para un revenimiento especificado, disminuyen la relación agua/cemento, por lo que se obtiene un aumento de resistencia.
Aditivos Retardantes.	Se emplean para compensar los efectos acelerantes que el clima cálido puede producir al fraguado del concreto o para retrasar el fraguado inicial en colados difíciles.
Aditivos acelerantes.	Se utilizan cuando es necesario desencofrar antes del tiempo que las especificaciones contractuales fijan y/o para poner en servicio la obra antes de lo previsto.
Aditivos Superplastificantes.	Son aditivos reductores de alto rango, que se agregan a los concretos de bajo revenimiento o de baja fijan y/o ponen la obra antes de lo previsto, fijan y/o ponen en servicio la obra antes de lo previsto.

Fuente: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2009

Según la norma ASTM C-494 “Especificación normalizada para los aditivos químicos para concreto” los aditivos químicos son del tipo A al tipo G, las características de reducción en el agua de mezclado y de fraguado inicial para cada tipo de aditivo, se deben comparar con las de una mezcla de concreto de control que no contiene el aditivo; según su formulación estos aditivos, pueden ser usados para propósitos propios de cada caso, como se describe en la tabla 8.

Tabla 8: *Clasificación de aditivos químicos, según ASTM C-494.*

TIPO DE ADITIVO	CARACTERISTICA
TIPO A	REDUCTOR DE AGUA
TIPO B	RETARDANTE
TIPO C	ACELERANTE
TIPO D	REDUCTOR DE AGUA Y RETARDANTE
TIPO E	REDUCTOR DE AGUA Y ACELERANTE
TIPO F	REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO
TIPO G	REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y RETARDANTE

Fuente: Guía de clases de Tecnología del Concreto, UES, 2009

En la presente investigación se profundizará en el conocimiento de los aditivos superplastificantes, ya que este será el tipo de aditivo que se utilizará en el diseño y Elaboración de las mezclas de concreto de alta resistencia.

Aditivos superplastificantes

Como ya se definió anteriormente, los aditivos superplastificantes, son reductores de agua de alto rango, según la norma ASTM C 494 están clasificados como los tipos F y G, estos se agregan a concretos de bajo revenimiento y baja relación

agua/cementantes (como en el caso de concretos de alta resistencia), para producir “concretos fluidos de alto revenimiento” que puedan colocarse con poca o ninguna compactación y sin que produzcan sangrados y exudaciones perjudiciales en el concreto.

Esta clase de aditivos produce un considerable aumento en la trabajabilidad de los morteros y concretos, sin modificar su contenido de agua, la duración de los efectos generalmente es temporal y variable, los morteros y concretos con trabajabilidad constante pueden lograrse con pequeñas cantidades de agua, ahorrando 12 a 25% del agua de mezclado.

Utilización de los aditivos superplastificantes

La incorporación de aditivos superplastificantes en la mezcla de concreto asegura por un tiempo limitado una fluidez tal que el concreto se pueda acomodar por sí mismo, asegurando así su compactación por su propio peso y evitando la utilización de equipos.

Como ya se mencionó, con este tipo de aditivos se puede obtener una reducción en el agua de mezclado de 12 a 25%, bajando así la relación agua/cementantes; esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua/cementantes permite producir concretos con las siguientes características:

- Resistencias últimas a compresión arriba de 700 kg/cm².
- Mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana.
- Menor penetración del ion cloruro.
- Concreto menos porosos, menos permeables y más durables.
- Así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tiene relación agua/cementantes bajos.

De lo anterior se puede decir, que es posible producir mezclas de concretos altamente trabajables con relaciones agua/cementantes bajos, logrando así altas resistencias tempranas y tardías, o en otras palabras elaborar concretos de alta resistencia que sean altamente trabajables.

Compatibilidad cemento/superplastificante.

Al igual que los aditivos comunes, los aditivos superplastificantes se pueden comportar de manera diferente con distintos tipos de cemento, con ciertas combinaciones, pueden ocurrir efectos indeseables que varían desde un efecto retardante excesivo, hasta un endurecimiento prematuro, dependiendo de la dosis y del tipo de componente químico del aditivo y de la composición química del mismo cemento.

Actualmente a partir de la composición química de un cemento y un superplastificante particular es imposible determinar el tipo de comportamiento reológico que se podría esperar en mezclas con baja relación agua/cementantes¹³. Por lo que debido a la complejidad de los fenómenos químicos involucrados es necesario hacer las mezclas y ver cómo trabajan. Debido a que la fabricación de concreto en lotes de prueba consume tiempo, materiales y energía, se han desarrollado varios métodos más fáciles de aplicar y repetir, los cuales involucran una cantidad de materiales menor, generalmente se basan en el estudio del comportamiento de una lechada.

Básicamente son dos los métodos simplificados que se utilizan con mayor frecuencia: el método de mini revenimiento y el del cono Marsh, la ventaja del primero es que requiere menos material para llevarse a cabo; pero la lechada se evalúa en un comportamiento más bien estático, mientras que en el otro se requiere más material y la lechada se prueba en una condición más dinámica, el uso de cualquiera de los dos métodos es un asunto de preferencia personal.

Clasificación de los aditivos superplastificantes.

Los superplastificantes comerciales pueden clasificarse ampliamente en cuatro categorías, de acuerdo a la naturaleza química de su base¹⁴, como se muestra a continuación:

- Poli condensado de formaldehído y melanina sulfonatado, también llamado melanina sulfonato.
- Poli condensado de formaldehído y naftaleno sulfonatado
- Lignosulfonato.
- Policarboxilatos.

En esta investigación se utilizará un aditivo superplastificante del tipo "Policondensado de formaldehído y naftaleno sulfonatado, por lo que se profundizará en el conocimiento de este tipo de aditivo.

Superplastificantes a base de naftaleno sulfonato

Este tipo de superplastificantes se venden en forma de líquido café, con un 40 a 42% de partículas sólidas, también están disponibles en forma sólida como un polvo café, ambas presentaciones están generalmente disponibles como sales de sodio o calcio, pero más a menudo como sales de sodio.

Existen algunas aplicaciones en las cuales los requisitos de aceptación obligan el uso de la sal de calcio, por ejemplo, cuando se utilizan agregados reactivos al álcali

para hacer concreto; por otra parte, en las aplicaciones de alta resistencia se han usado con mayor frecuencia la sal de sodio, ya que es la que más se produce. Los superplastificantes de naftaleno se han usado, en su mayoría y casi en todas partes, para producir concreto de alta resistencia, a la pregunta de por qué se utilizan los superplastificantes de naftalenos en vez de los de melanina, lo usuarios contestan lo siguiente:

- ✓ Los superplastificantes naftalenos tienen mayor contenido de sólidos, por lo tanto, son más eficaces por unidad de costo para lograr un cierto grado de trabajabilidad.
- ✓ Con este tipo de superplastificante es más fácil controlar la reología del concreto de alta resistencia debido al ligero retraso que se produce en el fraguado.
- ✓ Los superplastificantes naftalenos son más baratos; al haber más fabricantes competidores existe mayor poder de negociación.
- ✓ La calidad del servicio y la fiabilidad de algunas marcas específicas son excelentes.
- ✓ En este caso también, algunos productores de concreto de alta resistencia admiten con franqueza que se iniciaron con superplastificantes naftalenos y se mantiene con ellos porque todavía obtienen buenos resultados.

Efectos de los superplastificantes sobre las propiedades del concreto

Los efectos específicos de los aditivos superplastificantes varían según los tipos de cemento, la relación agua/cementantes, la dosificación del aditivo, la temperatura de mezclado, la temperatura ambiente y otras características que pueden darse en la obra, como ya se mencionó anteriormente, las razones principales por las cuales se usan en el concreto esta clase de aditivos, son básicamente; para solucionar problemas de manejabilidad, resistencia y durabilidad.

Los aditivos superplastificantes generan efectos en las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido, a continuación, se mencionarán algunos de estos efectos:

Efectos en las propiedades en estado fresco: al concreto al que se le ha adicionado un aditivo superplastificante, se caracteriza por un gran revenimiento y sus altos valores de fluidez; por lo que la trabajabilidad del concreto queda mejorada, ya que esta aumenta sin incrementar el contenido de agua de la mezcla, también se

puede mantener la misma trabajabilidad en la mezcla y disminuir su contenido de agua, facilitando así la colocación y compactación del concreto.

La reducción de agua varía dependiendo de la dosificación del aditivo y del tipo de mezcla, esta puede llegar hasta 25%¹⁶, esta reducción tiene como objetivos: incrementar la resistencia del concreto sin aumentar el contenido de cemento y disminuir la porosidad de la pasta, haciendo más impermeable y durable el concreto, entre los beneficios de esta reducción de agua en el concreto fresco, está la reducción del contenido de agua sin modificar excesivamente el tiempo de fraguado; como desventaja, se presenta en ocasiones el uso de estos aditivos incluyen aire al concreto, y/o retrasan demasiado la pérdida de revenimiento y/o la contracción por secado.

Efectos en las propiedades en estado endurecido: la adición de un aditivo superplastificante en una mezcla de concreto puede mejorar las propiedades del concreto endurecido, a corto como a largo plazo, entre estas se pueden mencionar:

- ✓ Alta resistencia.
- ✓ Propiedades mecánicas especiales a corta y larga edad.
- ✓ Gran resistencia al impacto a la abrasión.
- ✓ Gran estabilidad de volumen.
- ✓ Gran durabilidad en condiciones y ambientes severos.

El efecto de este tipo de aditivos, es que neutralizan las cargas superficiales de las partículas de cemento causando una extrema dispersión, resultado de una eficiente y completa hidratación del cemento, aumentando a su vez el desarrollo de la resistencia en el concreto; estos aditivos generalmente logran incrementos en la resistencia a la flexión del concreto (MR), pero estos no son proporcionalmente tan grandes como los incrementos en la resistencia a la compresión ($f'c$); las resistencias más elevadas, son obtenidas principalmente con aditivos superplastificantes que contienen lignosulfonatos y más especialmente los adicionados con cloruros.

Elección del superplastificante para elaborar concreto de alta resistencia

Cuando se elabora concreto de alta resistencia, la elección del aditivo superplastificante es muy importante; debido a que no todos los tipos y marcas de aditivo reaccionan de la misma manera con un tipo de cemento en particular; la experiencia demuestra que no todos los superplastificantes comerciales poseen la misma eficacia a la hora de dispersar las partículas de cemento en mezcla, reducir

la cantidad de agua de mezcla y controlar la reología de mezclas con relaciones agua/cementantes muy bajas durante la primera hora posterior al contacto del agua con el cemento.

Esta situación se debe parcialmente a que los requisitos de aceptación actuales para superplastificantes se desarrollaron en una época en la cual estos se usaban principalmente para fluidificar concretos convencionales, estas condiciones de uso están lejos de ser las que prevalecen en mezclas de alta resistencia, por lo que en ocasiones surgen problemas de compatibilidad al utilizar un cemento y un superplastificante que reúnan por completo sus estándares de aceptación.

CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA EN ESTADO FRESCO

REOLOGIA DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de la materia, desde el punto de vista de la resistencia es necesario usar una relación agua/cementantes lo más baja posible, dado que el concreto de alta resistencia debe ser colocado y transportado con relativa facilidad usando procedimientos de construcción convencionales.

“En las aplicaciones de campo, el concreto usualmente debe tener una trabajabilidad adecuada durante cerca de una hora y media. En las plantas de pre-moldeados, donde la colocación es más rápida, suele ser suficiente asegurar una alta trabajabilidad de hasta media hora.”

La reología del concreto está regulada generalmente por factores físicos y químicos, entre los factores físicos están la distribución del tamaño del grano y la forma de los agregados. En los concretos con relaciones agua/cementantes muy bajos, la distribución del tamaño del grano y distribución de las partículas de cemento también juega un papel importante en la determinación de la reología del concreto fresco. Entre los factores químicos se encuentra la reactividad inicial del cemento y los materiales cementantes suplementarios cuando está en contacto con el agua.

MEZCLADO

El concreto de alta resistencia se produce de la misma manera que el concreto convencional, también es utilizado el mismo equipo para producirlo, aunque este, casi siempre requiere de una secuencia de mezclado más prolongada que la del concreto convencional. Naturalmente, todo el equipo empleado para pesar y dosificar los materiales debe ser exacto, pues es necesario que los materiales que

han sido seleccionados y controlados sean pesados de forma exacta, y así, poder obtener la trabajabilidad y resistencia previstas.

“Las dosificaciones de las mezclas de concreto de alta resistencia son susceptibles a cualquier variación, especialmente en cuanto al contenido de agua. Un aumento de 3 a 5 litros de agua de mezclado por metro cúbico, puede representar también una disminución de 10 a 20 MPa (100 a 200 kg/cm² aproximadamente) de resistencia a la compresión. De igual manera, el dispositivo que administra el aditivo superplastificante debe ser muy preciso, porque cualquier variación en la dosis puede provocar un problema en cuanto a trabajabilidad, segregación o retraso.

El concreto de alto desempeño requiere períodos de mezclado más extensos que el concreto de resistencia convencional, pero es difícil fijar normas precisas. El período de mezclado se debe establecer según cada caso. El mezclado se optimiza de forma tal que un aumento en el tiempo de mezclado no incrementa la homogeneidad o la trabajabilidad del concreto, este es un punto de controversia en cuanto al mezclado, este es decidir cuándo es el momento más adecuado para introducir el superplastificante a la mezcla; actualmente existen tres formas de pensar respecto a esto, y cada una considera que su enfoque es mejor que los otros; estos enfoques son:

- ✓ Todos los superplastificantes se introducen en la mezcla al mismo tiempo.
- ✓ Al comenzar el mezclado se agregan aproximadamente 2/3 del superplastificante, y el último tercio hasta el final.
- ✓ Parte del aditivo se agrega durante la dosificación, de modo que el concreto sale de la planta de dosificación con un revenimiento de aproximadamente 100 mm para que todavía tenga un revenimiento de al menos 50 mm cuando llegue al lugar de trabajo. El superplastificante restante se agrega entonces y así se obtiene el revenimiento previsto.

Cualquiera que sea el enfoque que se elija para introducir el superplastificante, es necesario mencionar que para obtener una trabajabilidad adecuada el revenimiento del concreto de alta resistencia no debe ser mayor a 230 mm.

CURADO

El curado garantiza que la temperatura y el contenido de humedad sean satisfactorios en el concreto por un periodo de tiempo, el cual empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto; para los concretos

convencionales, el curado con agua es necesario para garantizar el más alto grado de hidratación posible y, en consecuencia, para obtener la mayor resistencia y la menor permeabilidad.

El concreto sin curado seca más o menos rápido dependiendo de su relación agua/cementantes y nunca alcanzara su mayor resistencia ni su máxima durabilidad; el curado temprano siempre es mejor que el curado tardío y, en el caso de los concretos convencionales, un curado es mejor que ningún curado.

La idea de que el concreto de alto desempeño necesita curarse todavía es un tema de controversia; algunos dicen que el concreto de alto desempeño debe ser curado como cualquier concreto convencional; otros dicen que, debido a su muy densa microestructura, el concreto de alto desempeño no necesita curado alguno.

“Curar apropiadamente es siempre vital para bajar, en la medida de lo posible, la contracción final de un concreto convencional para que no se agriete; pero el curado apropiado es más importante en el caso de un concreto de alta resistencia.”

“En el concreto convencional, la contracción final es, en esencia, de origen térmico y es causada por el secado, mientras que en el concreto de alta resistencia pueden desarrollarse contracciones severas como:

- ✓ En estado plástico, debido al muy bajo índice de exudación del concreto de alto desempeño;
- ✓ En estado endurecido, debido a la auto desecación que sigue al rápido e intenso desarrollo de la hidratación del cemento;
- ✓ Al gradiente térmico creado por el desarrollo no homogéneo de la temperatura dentro de la masa de concreto durante su enfriamiento.”

En el concreto de alta resistencia siempre existen estos tres mecanismos fundamentales que reducen su volumen aparente, y lastimosamente no hay todavía un método universal comprobado para curar el concreto de alta resistencia.

“La forma más adecuada de curar el concreto de alto desempeño es, en principio, muy sencilla: el concreto de alto desempeño debe ser curado con agua durante tanto tiempo como sea posible.

PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

El ACI menciona algunas propiedades del concreto en estado fresco que son críticas: trabajabilidad, compactación, estabilidad, consistencia, etc. Los conceptos comunes abarcan todas estas propiedades en definiciones como “la facilidad con

que el concreto puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado” o “la habilidad del concreto para fluir”, etc.

Estas definiciones son subjetivas, pero enlazan las palabras comúnmente usadas con factores físicos que pueden ser medidos. Las pruebas usualmente realizadas al concreto en estado fresco miden intrínsecamente sus propiedades reológicas, sin embargo, un mejor entendimiento de las propiedades del concreto en estado fresco es necesario para poder predecir su flujo.

El concreto en estado fresco es realmente una suspensión concentrada de partículas sólidas (agregados) en un líquido viscoso (pasta de cemento), la pasta de cemento a su vez no es un fluido homogéneo y está compuesta de partículas (granos de cemento) en un líquido (agua). Por lo tanto, el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido.

Para conocer las propiedades del concreto en estado fresco es necesario establecer diversos parámetros como: peso volumétrico, revenimiento, contenido de aire y tiempo de fraguado. Esta investigación se enfocará en las siguientes propiedades del concreto en estado fresco: trabajabilidad (la cual se determinará por medio del parámetro revenimiento) y contenido de aire del concreto.

Trabajabilidad

La trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir la compactación deseada de la mezcla, aunque según el ACI también se puede definir como: la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado.

Como ya se mencionó anteriormente, en esta investigación el parámetro que será utilizado para determinar la trabajabilidad es el revenimiento del concreto.

Revenimiento

La prueba de medición del revenimiento está regida bajo la norma ASTM C-143, aunque esta sea criticada en cuanto a su valor científico y tecnológico, se seguirá usando por más tiempo para controlar la trabajabilidad del concreto, sea este convencional o de alta resistencia.

El revenimiento del concreto se ve afectado por muchos factores, desde el punto de vista reológico, este principalmente depende de factores como la forma y angulosidad del agregado, además, de la cantidad de pasta que haya sido utilizada para su Elaboración, así como la fluidez que esta posea.

La práctica de medición del revenimiento en el concreto convencional es relativamente fácil si se le compara con la medición del revenimiento en concreto de alta resistencia, ya que en el concreto convencional, después de unos pocos segundos el cono de concreto deja de deformarse o colapsar, y mantiene una altura estable. Además, cuando se ejecuta bien la práctica, el valor del revenimiento se puede seguir obteniendo con una variación de ± 10 mm. Pero, a diferencia del concreto convencional, en el concreto de alta resistencia, la medición del revenimiento no es tan fácil porque el cono de concreto no deja de deformarse y seguir colapsando debido a los aditivos superfluidificantes con que se elabora, entonces, es difícil decidir en qué momento se debe registrar la altura del cono que poco a poco está colapsando. Ahora bien, que, para los concretos de alta resistencia fluidos, es bien común observar que el concreto se derrama por los bordes del tablero del cono estándar sobre el cual se llevó a cabo la prueba.

Factores que influyen en el revenimiento

Hay una gran cantidad de factores que afectan al revenimiento del concreto, pero desde la parte reológica, estos se pueden clasificar en dos categorías: los que se relacionan con la forma del agregado, y los que tienen que ver con el comportamiento reológico de la pasta de cemento en sí.

“Los principales factores que están relacionados con el agregado y que afectan el revenimiento del concreto, son: la cantidad total de piedra chancada/arena gruesa, sus respectivas distribuciones granulométricas y las formas de las partículas de los agregados, tanto para el concreto convencional como para el de alto desempeño. El comportamiento reológico de la pasta de cemento del concreto convencional tiene que ver con la relación agua/cementantes. Cuanto mayor sea la relación, más diluidas en agua están las partículas finas, de modo que, físicamente, el agua juega un papel clave en la reología de la pasta de cemento hidratada cuando la relación agua/cementantes es alta (por ejemplo, 0.50). Con un valor de la relación agua/cementantes tan elevado, las partículas cementantes están lejos unas de otras dentro de la pasta que su interacción, no afecta particularmente el revenimiento del concreto. La cantidad de aire incluido también afecta drásticamente el revenimiento de un concreto convencional, cosa que está bien documentada”.

“Cuando la relación agua/cementantes disminuye y la dosificación del superplastificante aumenta, desde el punto de vista reológico, la situación

comienza a complicarse, ya que el agua por sí misma deja de desempeñar un papel fundamental en la reología de la pasta de cemento. El cemento y las partículas ligantes interactúan físicamente, y eso se ve afectado por su forma, su distribución granulométrica y su reactividad química.

Además, el superplastificante utilizado para de floccular las partículas de cemento, interactúa con las partículas de cemento en hidratación, por lo que ahora tenemos un conjunto muy complejo de factores que influyen en la reología del concreto de alto desempeño. En este aspecto, se ha demostrado que el contenido de sulfato de cemento y su tasa de disolución cumplen un papel clave, que no es tan importante en el caso del concreto convencional.”

Es obvio que, a medida que la relación agua/cementantes disminuya, el asunto se volverá más complejo y se comenzara a utilizar términos como “pegajoso” para describir la consistencia del concreto de alta de alta resistencia.

Pérdida de revenimiento.

No existe mucha información teórica sobre este aspecto, porque la mayoría de autores e investigadores dicen que debido a que las partículas de los materiales cementantes suplementarios son menos reactivas en el concreto fresco, su efecto reológico se limita a la parte física.

El hecho de usar materiales cementantes suplementarios (Adiciones), desde el punto de vista práctico, es adecuado para resolver los problemas que generan pérdidas de revenimiento, y estos materiales han sido utilizados desde la década de 1970 cuando comenzaban a surgir los concretos de alta resistencia.

Las únicas limitaciones que impiden utilizar materiales cementantes suplementarios (adiciones, por ejemplo), y reemplazar parcialmente el cemento del concreto de alta resistencia, están relacionadas con el progreso de las resistencias tempranas y la resistencia ante la abrasión provocada por el hielo y el deshielo. La durabilidad de estas mezclas ante el congelamiento y el deshielo no se ha llegado a comprobar todavía, es más, no se sabe si las pruebas para determinar la durabilidad ante el congelamiento y el deshielo son las apropiadas. También se puede utilizar una inclusión de aire para resolver el problema; esta, no causara daño desde el punto de vista reológico, aunque resultara que se perderá algo de la resistencia.

Contenido de aire

- El concreto de alta resistencia sin aire incluido

“No es esencial realizar una medición repetidamente del contenido de aire de un concreto de alta resistencia sin inclusión de aire, pero es recomendable medirlo para poder verificar la masa unitaria. Por lo general, los concretos de alta resistencia pueden atrapar del 1% al 3% de aire, ya que las mezclas suelen ser más pegajosas que las del concreto convencional, a menor relación agua/cementantes, más pegajoso será el concreto, sin embargo, con algunas combinaciones de cemento y superplastificante, es posible elaborar concretos con una relación agua/cementantes de 0.30, donde la cantidad de aire atrapado se encuentre entre 1% y 1.5% cuando la fluidez de la mezcla se ajusta con cuidado. Pero a medida que la relación agua/cementantes baja de 0.30 se hace más difícil disminuir la cantidad de aire atrapado por debajo de 1.5% a 2%.

“Se ha observado un fenómeno extraño al hacer la mezcla de algunos concretos de alta resistencia después de una sobredosificación de superplastificante cuando se utilizaba una alta cantidad de agua de mezclado. El concreto de alto desempeño se volvió muy fluido y tendía a atrapar un gran volumen de grandes burbujas de aire, provocaba lo que se ha llamado “concreto burbujeante” o “efecto champagne”; las grandes burbujas de aire tienden a flotar fuera del concreto, pero parecen regenerarse tan fácilmente como desaparecen durante el mezclado. Cuando se coloca en los moldes, esta clase de mezcla es propensa a severa segregación y se retarda mucho. Después de endurecida, dicha mezcla contiene un alto volumen de vacíos de gran tamaño, los cuales disminuyen de forma drástica la resistencia a la compresión.”

Ahora bien, cuando la preocupación más grande es la resistencia a la compresión (tal es el caso de los concretos sin aire incluido), es importante mantener la cantidad de aire atrapado tan baja como se pueda para poder evitar disminuciones en la resistencia. Además, los últimos MPa son difíciles de alcanzar, por lo que no debe discriminarse ningún método utilizado para disminuir el contenido de aire atrapado.

PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Es necesario aclarar que al concreto de alta resistencia se le pueden estudiar diferentes parámetros para evaluar sus propiedades mecánicas (Módulo de ruptura, resistencia a la tracción, Resistencia a la fatiga, Flujo plástico y contracción, entre otros), pero en esta investigación solamente se tratará con la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad, por lo que la información teórica se encuentra referida solamente a estas dos propiedades.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

Medición

Obviamente la resistencia de un concreto de alta resistencia es mucho más elevada que la de un concreto normal; cuando excede los 60 MPa, esta no es tan fácil de medir de la forma adecuada, esta está regida bajo la norma ASTM C-39 “Método para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto”.

La resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia se incrementa a medida que la relación agua/cementantes disminuye al igual que en el concreto convencional. Pero esta ley de la relación agua/cementantes, solo puede ser aplicada hasta que la resistencia a la trituración de los agregados se convierta en la resistencia más baja del concreto de alta resistencia. Lo anterior pasa cuando al comparar los agregados con la pasta hidratada del cemento, estos resultan ser menos resistentes, al llegar a este punto, la resistencia ya no se incrementará disminuyendo la relación agua/cementantes. Así, la forma para incrementar la resistencia a la compresión de un concreto que presente dichas características, es usar la piedra chancada más resistente.

“Debido a los múltiples factores que afectan la relación entre f'_c y la relación agua/cementantes, es imposible establecer todavía una relación general entre la proporción agua/cementantes y la resistencia a la compresión que puede alcanzar un concreto de alta resistencia, incluso cuando la piedra chancada son los suficientemente resistentes. Sin embargo, los valores que se muestran en la siguiente tabla, pueden servir para predecir la máxima resistencia a la compresión que se puede alcanzar con diferentes rangos de relación agua/cementantes.

Puede que si se toman en cuenta la gran cantidad de combinaciones de los materiales utilizados en la fabricación de concretos de alta resistencia y sus propiedades resulta difícil ser más específico. Solamente realizar series de pruebas de resistencia a la compresión pueden producir los valores reales alcanzables en un lugar en particular.” En la tabla 9, se muestran algunos valores de resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia en función de la relación agua/cementantes.

Tabla 9. Resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia como una función de la relación agua/cemento.

Relación A/C	Rangos Máximos de la Resistencia a la Compresión.
0.4 – 0.35	50 a 75 MPa
0.35 – 0.30	75 a 100 MPa

Fuente: P-C. AITCIN, "Concreto De Alto Desempeño", Capítulo 16. Sección 16.1 Universidad de Sherbrook, Quebec, Canadá.

"Hay otros factores importantes que están relacionados con la resistencia a la compresión que requieren particular atención. Algunos de ellos son:

- La resistencia a la compresión temprana del concreto de alto desempeño;
- La influencia de la temperatura máxima alcanzada en la etapa temprana sobre la resistencia a la compresión del concreto.
- El desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto a largo plazo.
- La resistencia de los núcleos comparada con la de los especímenes perforados.

Resistencia a la compresión temprana del concreto de alta resistencia.

El endurecimiento del concreto se ve bastante influenciado por las cantidades utilizadas de retardante y superplastificante, que se han agregado a fin de bajar la relación agua/cementantes hasta un punto necesario donde se asegure que se está alcanzando la resistencia a la compresión requerida, y a la misma vez que conserva la trabajabilidad deseada para hacer más fácil su colocación durante el tiempo necesario.

Cuando se diseña una mezcla, se puede establecer un control sobre la resistencia temprana del concreto de alta resistencia, dado que la disminución de la relación agua/cementantes se puede lograr de dos distintas maneras: utilizando un superplastificante que ayude a disminuir el contenido de agua de mezclado; incrementando la cantidad de cemento y, de esta forma, el volumen de agua a utilizar, requiriendo así de menos aditivo superplastificante para alcanzar la trabajabilidad deseada.

"Aunque también debe recalarse que, con el uso de altas dosis de superplastificante, y a veces de retardante, es posible demorar significativamente la reacción de hidratación, pero cuando la hidratación comienza, se desarrolla muy rápidamente. Por lo tanto, cuando se trata con concreto prefabricado, es mejor formular el concreto de alta resistencia con una alta cantidad de cemento en lugar de diseñarlo con la menor cantidad de agua posible.

Si se utiliza una relación agua/cementantes que oscile entre 0.30 y 0.35 a una temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C, es posible obtener una alta

resistencia temprana de 20 a 30 MPa (de 200 a 300 kg/cm²) en 24 horas. Pero con frecuencia es difícil obtener una alta resistencia temprana antes de 12 horas con el concreto de alto desempeño. Además, cabe mencionar que dos o tres horas adicionales de curado a 20 °C pueden significar una gran diferencia en la resistencia a compresión temprana de este tipo de concreto.

Efecto del aumento temprano de temperatura del concreto de alta resistencia sobre el esfuerzo a la compresión.

Durante las 24 a 48 horas iniciales después de su colocación, la temperatura del concreto sufre un incremento significativo, y en algunas partes masivas de concreto de alta resistencia, se llegan a registrar valores máximos de temperatura entre 65 y 70°C.

El incremento en la temperatura del concreto está directamente relacionado con la cantidad de cemento realmente hidratado, y este aumento de temperatura no es una función de la cantidad total de cemento que se encuentra en la mezcla. Cuando la relación agua/cementantes es muy baja en los concretos, el factor que limita la cantidad de cemento hidratado es la escasez del agua de mezclado, y por esto, también la temperatura máxima se ve limitada, aunque la mezcla posea una alta cantidad de cemento.

En el concreto normal, un aumento en la resistencia temprana es causado por el calentamiento externo temprano, pero este también produce una disminución en su resistencia a los 28 días. En el caso del concreto de alta resistencia no parece ser así, ya que la temperatura se incrementa en el mismo rango de temperaturas debido a la súbita hidratación que sufre el concreto. Se ha encontrado que la resistencia a la compresión medida a los 28 días en núcleos extraídos es similar a la resistencia a la compresión medida en especímenes de curado estándar de la misma edad.

Resistencia a la compresión a largo plazo.

Cuando se realizan pruebas a compresión a especímenes curados con agua a 28 días, debe entenderse que una parte del agua de curado penetra dentro de los especímenes a través de su superficie externa y de este modo un borde más o menos grueso de concreto continúa hidratándose alrededor de toda la pieza generando mayor resistencia en el espécimen. Además, en un elemento estructural la hidratación se detiene por la falta de agua, o también, debido a una humedad relativa demasiado baja en el sistema poroso.

Entonces, es obvio que la resistencia a la compresión a los 28 días de un espécimen curado con agua, no guarda ninguna relación directa con la del concreto en la estructura, y podrían ser resultados significativamente alejados de la resistencia a la compresión en la obra. No debe sorprender, entonces, que la resistencia a la compresión de los núcleos de 1 año no sea demasiado diferente a la resistencia a la compresión medida a los 28 días; y que la resistencia de este espécimen sea, casi siempre, significativamente menor que la de especímenes estándar curados en agua durante un año.

MODULO DE ELASTICIDAD

La resistencia del concreto no es el único criterio a tener en cuenta para el diseño y el cálculo de una estructura, pues la rigidez del mismo suele tener la misma o mayor importancia. El diagrama esfuerzo – deformación en la compresión de un concreto, suministra el factor más importante a partir del cual se deducen las ecuaciones para el cálculo de elementos de concreto reforzado: el módulo de elasticidad del concreto, que desde luego da una medida de la rigidez del material. En el diseño, es de gran importancia conocer el módulo de elasticidad del concreto a la hora de calcular las deformaciones de los diferentes elementos que componen una determinada estructura. La determinación del módulo de elasticidad en esta investigación está regida por la norma ASTM C-469 “Método para determinar el Módulo de Elasticidad estático y coeficiente de Poisson del concreto en compresión”.

Se han establecido una relación directa entre el módulo de elasticidad del concreto y su resistencia a la compresión (a mayor resistencia mayor módulo de elasticidad), sin embargo, el módulo de elasticidad del concreto depende en gran medida de la calidad de los agregados y su proporción dentro de la mezcla. En general, se han propuesto numerosas ecuaciones, todas ellas experimentales, para obtener el valor del módulo de elasticidad, una de estas ecuaciones, es la propuesta en la Norma técnica para el diseño y construcción de estructuras de concreto.

2.3.6.1 Nanosílice.

La nanosílice es una sílice coloidal que consiste en partículas de dióxido de silicio amorfo (SiO_2), dispersas en el agua. El tamaño de las partículas es a nivel nanométrico, mil veces más pequeña que la microsílice. Esta selección de tamaño de partículas es la que confiere sus singulares propiedades.

La nanosílice es una modificación mejorada en relación al empleo de microsílice como adición en los hormigones, ofreciendo ventajas como la menor demanda de agua y mejor resistencia a edades tempranas.

Este producto nace ante la necesidad de la innovación, se promueve como alternativa a la microsílice que ha sido usada satisfactoriamente por décadas en los hormigones casi como producto exclusivo de adición.

Producción

La producción de la nanosílice se basa en dos métodos:

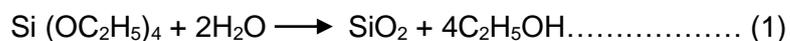
La primera es la vaporización de sílice a temperaturas entre 1500 – 2000 °C mediante la reducción del cuarzo (SiO₂) en hornos de arco eléctrico. Además, la nanosílice nace como un subproducto de la fabricación de metales de silicio y aleaciones de ferro-silicio donde se recoge por la condensación posterior a las partículas en un ciclón. La nanosílice que se consigue por este método es un polvo fino compuesto por partículas esféricas o microesferas con un diámetro de 150 nm con alta superficie específica.

La segunda es por el método sol-gel que es una ruta química y una de las más utilizados para la producción de los materiales a escala nanométrica, como el nanosílice.

El método está basado en un proceso sólido gelatinoso (vía orgánica o de agua), donde se controla el proceso mediante una cámara de temperatura. En este proceso los materiales principales y metales orgánicos como TMOS y TEOS tetramethoxysilane y tetraethoxysilane se añaden en forma solvente, una vez añadido, el pH de la solución varía produciendo una precipitación de gel de silicio.

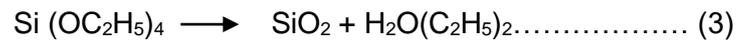
La precipitación del silicio TMOS:

El TEOS tiene la notable propiedad de una fácil conversión en dióxido de silicio, esta reacción se produce con la adición de agua:



Esta reacción de hidrólisis es un ejemplo del proceso sólido – gel el subproducto que se forma es el etanol. La reacción transcurre a través de una serie de reacciones de condensación que convierten la molécula de TEOS en un mineral similar a un sólido a través de la formación de los vínculos Si-O-Si. Las cantidades producidas en esta conversión son sensibles a la presencia de ácidos y bases, los cuales sirven como catalizadores.

A temperaturas superiores a los 6000°C, el TEOS también se convierte en dióxido de silicio.



Composición Química de la Nanosílice.

Se pueden encontrar en gran variedad de nanosílice comercializada, en cada una de ellas se encuentra en pequeñas variaciones en su composición química. Pero en todos los productos el componente mayoritario es el silicio $\text{SiO}_2 > 99\%$.

Comercialización

Debido a su tamaño nanométrico, se comercializa, en forma líquida mezclada con otros compuestos, para facilitar su transporte y trabajabilidad, tal como se muestra en la figura 5.

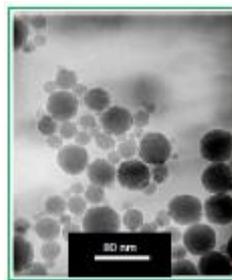


Figura 5. Micrografía de partículas de nanosílice en microscopio electrónico de transmisión.

Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

Cuando la sílice se mezcla con iones de calcio, sodio o potasio, como los productos provenientes de la reacción de hidratación del cemento, produce partículas de C-S-H (gel), que mantiene cohesionado a todas las partículas a escala de nanoporos (ver figura 6).

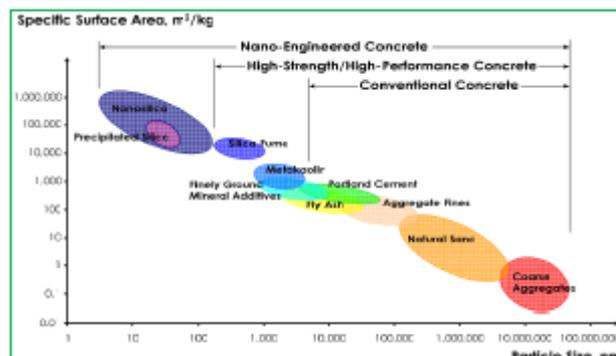


Figura 6. Escalas de los diferentes componentes del concreto autocompactante.

Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

Propiedades Físicas

Posee propiedades totalmente opuestas a las de la microsílíce, se presenta en diferencias como el color, el tamaño de partículas y el estado del material.

Tamaño de Partículas.

El tamaño de las partículas de nanosílíce, tal como su nombre lo indica, es a nivel nanométrico, entre 3 nm y 150 nm ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$), las cuales son mucho más pequeñas que la microsílíce que a la vez es 100 veces más fina que las partículas del cemento.

La siguiente figura se muestran es tamaño que poseen las partículas de microsílíce y nanosílíce, en ellas se observan en la misma escala que las partículas de nanosílíce tienen un tamaño mil veces menor, a consecuencias de estos se encuentran más juntas y cubren mejor los espacios entre ellas, como se muestra en la figura 7.

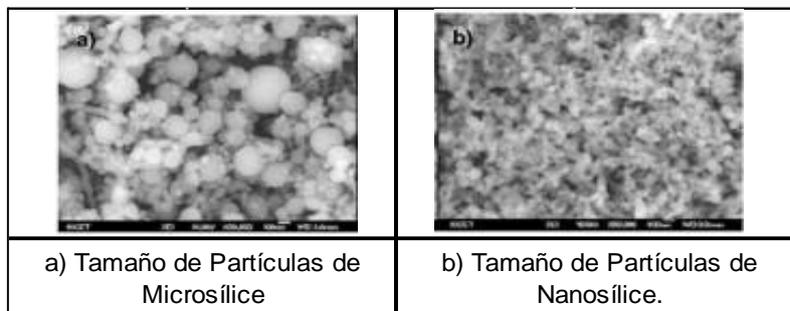


Figura 7. Comparación de tamaño entre las partículas de microsílíce y nanosílíce.
Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

Superficie Específica

La superficie específica de la nanosílíce es de $500\text{ m}^2/\text{g}$, como el tamaño de las partículas es a nivel nanométrico, la superficie específica de la nanosílíce es extremadamente grande lo que entrega plasticidad a la mezcla de hormigón.

Densidad.

La densidad de la nanosílíce utilizada para este proyecto es de $1100\text{ kg}/\text{m}^3$.

Propiedades Químicas

Amorfa

La nanosílíce no es un material cristalino, por lo que se considera un material amorfo al igual que el microsílíce.

Concentración de Sílice.

La nanosílíce utilizada contiene un porcentaje de sílice de 15% disuelto en una solución líquida.

Tabla 10. *Resumen de Propiedades Físicas y Químicas de la Nanosílice según su fabricante.*

Propiedades Físicas y Químicas de la Nanosílice.	
Estado Físico:	Líquido
Color:	Blanco
Olor:	Característico.
Densidad a 20° C (kg/m ³):	1,032 ± 0.004 (g/ml).
Sílice (%):	15
Tamaño de Partículas (nm):	5
Superficie Específica (m ² /g):	500
pH:	5 ± 1
Viscosidad (cps):	14 ± 1 seg.
Vida Útil (meses):	6
Inflamación:	No inflamable.
Combustión:	No combustible.
Explosión:	No explosivo.
Solubilidad:	Completamente Soluble en el Agua

Fuente: Datos Proporcionados por el Fabricante

Reacción al Hormigón:

Las cualidades que aporta la nanosílice son el resultado al cambiar la estructura del hormigón a nivel nanométrico, fortaleciendo a un nivel mil veces mayor que el tradicional, permitiendo un ahorro de cemento. Estos cambios se deben a dos procesos diferentes, uno dependiendo de las propiedades físicas y el otro por las propiedades químicas.

Contribución Física

Está relacionada al tamaño de las partículas, las nanopartículas llenan los vacíos entre los granos de cemento, lo que resulta en la inmovilización del agua libre, a lo que se denomina un efecto de llenado, a su vez las nanopartículas mejoran la estructura de la zona de contacto de los agregados, generando mejores uniones entre estos y la pasta de cemento.

En la figura 8, se presenta la ampliación de la interfase pasta-árido sin nanosílice y con nanosílice, presentándose más densa con la adición de nanosílice y con menos espacios lo que conllevaría a una mayor densidad.

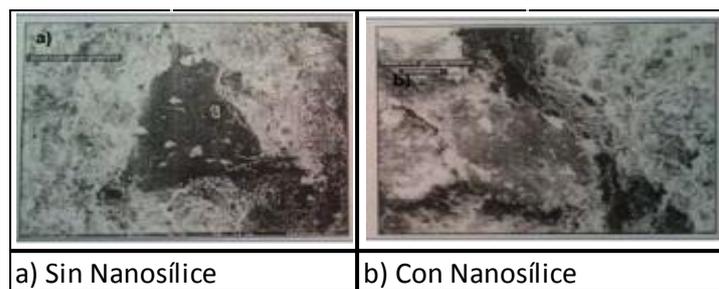


Figura 8. Ampliación de Pasta de Árido.
Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

Contribución Química

La nanosílice acelera el proceso de hidratación del concreto por la razón de que las nanopartículas tienen una muy buena dispersión en la mezcla y actúan como centros de cristalización de hidratos de cementos.

La nanosílice participa en las reacciones puzolánicas del cemento, generando resultados en el consumo de hidróxido de calcio y por ende en la formación de Silicato de Calcio hidratado (CSH) adicional.

Ventajas y Desventajas de la Nanosílice.

Ventajas de Nanosílice.

- ✓ No existe contaminación por partículas sólidas.
- ✓ Se puede obtener concretos con altas resistencias iniciales y finales debido a la baja permeabilidad y porosidad y al aumento de la densidad debido a una mejora en la cohesión del concreto.
- ✓ Concreto con buena trabajabilidad.
- ✓ No requiere el uso de superplastificantes.
- ✓ Reducción de espesores en estructuras de concreto.
- ✓ Acelera el proceso de hidratación del cemento.

Desventajas de Nanosílice.

- ✓ Alto precio.
- ✓ Se requiere personal capacitado para su manejo.

Comportamiento en la Microestructura del Concreto con Nanosílice.

La microestructura generada por la adición de nanosílice puede desarrollarse de dos formas dependiendo de la manera en la que se encuentre disperso el nanosílice en la masa. Si la nanosílice está bien se genera una microestructura densa incluso si se adiciona en pequeñas cantidades, pero si las partículas no se encuentran bien dispersas se pueden generar vacíos y zonas débiles.

La adición de nanosílice provoca cambios importantes en la microestructura final del concreto. Las reacciones internas que se producen con la adición de nanosílice provocan una microestructura más densa, compacta y resistente.

Finalmente, la gran diferencia que se produce en la microestructura al añadir nanosílice, es que favorecemos una “actividad puzolana” en el material.

Se entiende como reacción puzolánica, a la capacidad de la nanosílice de reaccionar con el hidróxido cálcico, dando lugar a una nueva formación de compuestos estables, poco solubles en el agua y que poseen unas características cementantes, capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico. La sílice por sí misma, posee un valor cementante nulo, pero si se le añade finamente molida y en condiciones de humedad como nano partículas, es capaz de reaccionar con la portlandita, fijando el calcio y dar silicatos de calcio hidratados de estequiometría.

Con el objetivo de verificar que estos cambios producidos en las propiedades físicas del concreto eran debidos a la adición de nanosílice y por ende conducían a cambios microestructurales se llevó a cabo un estudio de la pasta mediante microscopios.

En la figura 9 se muestra el esquema de hidratación de los diferentes tipos de concreto.

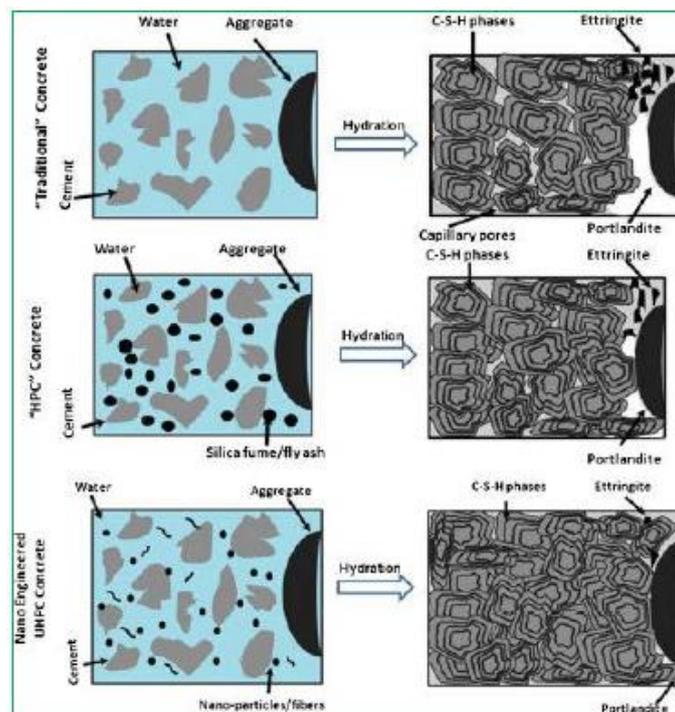


Figura 9. Esquema hidratación de los diferentes tipos de concretos.
Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

En la figura 10, se muestra cómo influye la adición de partículas en el desarrollo de la hidratación y por tanto el desarrollo de la microestructura de la pasta endurecida.

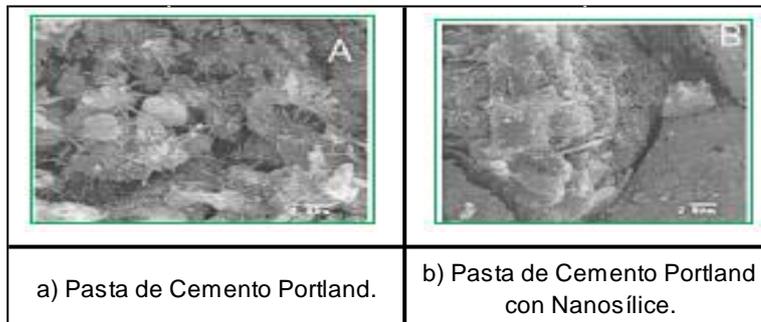


Figura 10. Comparación de Pastas de Concreto sin Nanosílice y con Nanosílice.
Fuente: Instituto de Ingeniería y Desarrollo.

En la imagen A, la pasta de cemento portland muestra un gran contenido de agujas de sulfato de aluminio, mientras que la imagen B, muestra una microestructura mucho más densa y compacta con una menor formación de cristales $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

2.3.6.2. Aditivo Incorporador de Aire.

Para otorgar resistencia a las heladas interesa particularmente que las burbujas sean pequeñas. La pasta de cemento está protegida contra los efectos del hielo-deshielo, si el factor de distancia es menor a 0.20 mm.

Mecanismo de Acción Durante el amasado del hormigón se forman burbujas de aire de diferentes tamaños, debido a los movimientos internos de los materiales del hormigón. Mientras más pequeña es la dimensión de las burbujas, mayor es la presión ejercida sobre ellas, por lo que éstas tienden a disolverse en el agua. Por su parte, las burbujas de mayor dimensión, debido a la menor presión que experimentan, tienden a crecer, son más deformables y pueden escapar especialmente durante la compactación del hormigón. Las que no se escapan pueden aumentar de volumen, alimentadas por las más pequeñas, formando huecos que permanecen indefinidamente en el hormigón. De lo anterior se deduce que un hormigón convencional, sin aditivo plastificante, prácticamente no puede contener burbujas inferiores a 0.1 o 0.2 mm. puesto que éstas se disuelven en el agua. Sin embargo, con aditivo, aun cuando la cantidad de aire sea similar, sus características serán muy distintas desde el punto de vista reológico y de su resistencia al hielo.

Los incorporadores de aire son productos de naturaleza aniónica que, al introducirse en una pasta de cemento, quedan adsorbidos sobre la superficie de las partículas de cemento formando una delgada capa de filamentos de naturaleza hidrófoba, orientados desde la superficie de éstas últimas hacia la fase acuosa entre granos sólidos y con su fase polar adherida a la superficie de los granos de cemento. Por otra parte, una pequeña proporción del producto se disuelve en fase líquida y, durante el amasado del hormigón, produce burbujas de aire que quedan distribuidas en dicha fase sin unirse entre sí debido a que en ellas los filamentos se orientan hacia el interior de las burbujas con su fase polar sobre dicha superficie.

La cantidad y características del aire incorporado dependen de numerosos factores, entre los cuales pueden dimensionarse: - Tipo y cantidad del aditivo Intervienen tanto sobre la cantidad como sobre el tamaño, distribución y estabilidad de las burbujas de aire incorporados. - Tipo y dosis de cemento La cantidad de aire incorporado disminuye cuanto más fino es el cemento y más alta es su dosis en el hormigón. - Docilidad del hormigón La cantidad de aire y tamaño de las burbujas de aire incorporado aumentan con la mayor fluidez del hormigón. En relación con este último aspecto, pueden señalarse los siguientes valores:

- Relación $a/c = 0.35$, contienen un tamaño de burbujas de 10 – 100 μ .
- Relación $a/c = 0.55$, contienen un tamaño de burbujas de 20 – 200 μ .
- Relación $a/c = 0.75$, contienen un tamaño de burbujas de 50 – 500 μ .

Características del hormigón Las características del hormigón inciden en la cantidad de aire incorporado. Entre ellas pueden mencionarse: - Proporción de mortero en el hormigón - Tamaño máximo del árido grueso - Contenido de granos finos entre 0,2 y 0,8 mm Condiciones de fabricación y puesta en obra del hormigón Las condiciones más influyentes en la cantidad de aire incorporado son: - Tiempo de amasado: un amasado muy prolongado hace perder parte del aire, el remanente es de un diámetro más pequeño puesto que las burbujas más grandes son más inestables, tendiendo a romperse o a salir a la superficie. - Condiciones de transporte: mientras más trepidaciones y traspasos experimenta el hormigón en su transporte mayor es la cantidad de aire perdido. - Condiciones de compactación: una cierta cantidad de aire puede perderse por efecto de la compactación si su energía es muy elevada y el tiempo de vibración prolongado, especialmente si la docilidad del hormigón es alta. Por las razones expuestas, la cantidad de aire incorporado debe controlarse sistemáticamente, midiéndolo mediante métodos adecuados. La medición se puede realizar por el Método de Presión, que está

normalizado en ASTM C 231, o por el Método Gravimétrico, normalizado en NCh 1564: Hormigón, determinación de la densidad aparente, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco.

En el hormigón endurecido, el contenido de aire, distancia entre burbujas y otros parámetros pueden ser determinados mediante observación microscópica efectuada según ASTM C-457.

Efectos La incorporación de aire en el hormigón produce diversos efectos sobre éste, tanto mientras se mantiene en estado plástico como cuando ya ha endurecido. Debe señalarse que el efecto principal buscado con el uso de los incorporadores de aire es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo, que pueden producirse en los períodos en que las temperaturas ambientes descienden bajo 0 °C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible. Sin embargo, la incorporación de aire tiene también otros efectos secundarios de importancia, algunos de características favorables para el uso de hormigón, los cuales se analizan en los párrafos que siguen. - Efecto frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo Cuando existen bajas temperaturas ambiente que conducen a procesos de hielo y deshielo alternativos, las burbujas de aire incorporado en el hormigón actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Ello permite reducir las presiones hidráulicas y, con ello, las tensiones internas que se originan por este motivo, impidiendo así el deterioro progresivo que se produciría en un hormigón que no contenga aire incorporado.

Debe señalarse que, para que este proceso destructivo se produzca, es necesario que el hormigón esté saturado de agua, al menos hasta una cierta profundidad. No basta, en consecuencia, la existencia de las bajas temperaturas, sino que éstas deben ir unidas a la existencia de humedad en el hormigón, derivada ya sea del ambiente o del terreno adyacente. Lo anterior implica también que, al mismo tiempo, para que se induzca el mecanismo protector descrito, las burbujas de aire no deben estar saturadas de humedad, lo cual se logra al emplear compuestos aniónicos que actúan de acuerdo al mecanismo descrito en el párrafo A, produciendo los filamentos hidrófobos señalados. En consecuencia, de lo anterior se desprende que no cualquier producto que produzca aire atrapado en el hormigón, por ejemplo los utilizados para producir hormigones livianos, tendrá la misma acción que un incorporador de aire. Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la eficacia de un aditivo incorporador de aire depende tanto de la cantidad total de aire incorporado,

como del tamaño y distancia entre burbujas, siendo más efectivo mientras más pequeñas sean y próximas se encuentren. En relación con el primero, la experiencia práctica acumulada indica que, para asegurar la protección de hormigones expuestos a ciclos de hielo-deshielo, deberá incorporarse en el orden de 3 a 6% de aire según el tamaño máximo del árido.

Efecto sobre la trabajabilidad del hormigón. Las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido, aumentando su docilidad, y como un inerte, ya que, por su tamaño, equivalen a partículas de tamaño inferior a 2 mm, con la ventaja de tener un mejor coeficiente de forma, de ser elásticas y deformables, lo que les permite deslizarse sin rozamiento. Se varía, por lo tanto, las propiedades reológicas del hormigón, aumentando la cohesión, con lo cual se reduce la tendencia a la segregación y la exudación, lo que facilita su puesta en obra. Por otra parte, al disminuirse la exudación se evita la acumulación de agua bajo las barras de acero y los áridos gruesos, mejorando su adherencia, así como también disminuye la formación de jechada en las superficies. Se debe considerar que la incorporación de aire produce disminuciones en las resistencias mecánicas del orden de 3 a 5% por cada 1 % de aire incorporado. Esta pérdida de resistencia se compensa en parte al bajar la razón agua-cemento por el efecto plastificador antes descrito. Sin embargo, debe considerarse que un efecto más significativo se obtiene con un aditivo plastificante-incorporador de aire

Efecto sobre la impermeabilidad En el hormigón endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canaliculos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El hormigón resultante es, en consecuencia, más impermeable e, indirectamente, por ello más resistente a la acción de agentes agresivos.

2.3.7. Calor de Hidratación

Es el calor que se genera cuando reacciona el agua con el cemento, la cantidad de calor generado depende principalmente de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los componentes responsables particularmente del elevado desarrollo de calor de hidratación, también influyen factores como la relación agua cemento, la finura del cemento y la temperatura de curado.

2.3.8. Gravedad Específica

Generalmente la gravedad específica del cemento Portland es de aproximadamente 3.15, mientras que del Portland escoria de alto horno.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y Alcances de la Investigación

3.1.1 Según su Aplicación

El tipo de investigación de esta tesis es la investigación es aplicada; porque son investigaciones, que se desarrollan con la finalidad de resolver problemas de la práctica o producción, buscando descubrir o validar nuevos métodos, técnicas, instrumentos o materiales que optimicen los procesos, y sus hipótesis se demuestran en términos de eficaz o ineficaz.

3.1.2. Según su Fin.

Esta investigación es de nivel explicativo, debido a que este tipo de estudios tienen el propósito de ir más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos y fenómenos. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables.

Las investigaciones explicativas son más estructuradas que el resto de estudios y, de hecho, implican los propósitos de éstos (exploración, descripción y correlación); además de que proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno al que hacen referencia.

Teniendo presente el nivel explicativo de la presente investigación, este tiene el propósito en primer lugar de buscar las dosis óptimas de aditivo reductor de agua de alto poder, usados para la obtención del concreto autocompactante considerando los tipos de agregado a emplearse en el diseño y posteriormente emplearemos estos concretos en el vaciado de testigos de concreto.

3.2 Diseño de la Investigación.

Para visualizar de manera práctica y concreta las respuestas a las preguntas de la investigación, además de cubrir los objetivos fijados se realizó un plan y/o estrategia para obtener la información que se desea, para ello se planteó un diseño experimental de clase pre experimental.

En la figura 11 se muestra el esquema de experimento y variables.

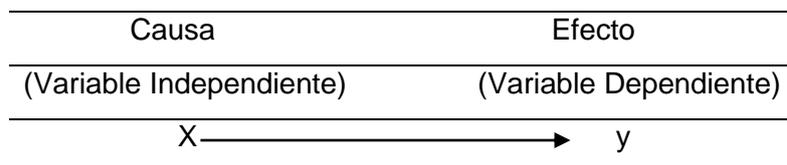


Figura 11. Esquema de experimento y variables.

Fuente: Hernández, Fernández, & Baptista, 2010.

El diseño pre experimental optado para esta investigación es el diseño de comparación estática o comparación de grupos solo después, este diseño pre experimental hace uso de un grupo de control y experimental, el grupo de control no va a recibir el tratamiento experimental (X).

La referencia a comparación estática o grupos intactos, es porque el investigador no selecciona los grupos, sino que estos ya están formados. La ejecución de este diseño sigue los siguientes pasos:

- a) Determinación de los grupos de trabajo, de los cuales solo el considerado como grupo experimental recibirá la variable independiente o tratamiento X.
- b) En ambos grupos, luego se mide la variable dependiente seleccionada, para poder hacer las comparaciones necesarias y extraer conclusiones.

En la figura 12 se muestra el esquema de diagrama de diseño de comparación estática.



Figura 12. Diagrama del Diseño de Comparación Estática.

Fuente: Hernández, Fernández, & Baptista, 2010.

En este diseño, la única diferencia entre los grupos es la presencia-ausencia de la variable independiente. Inicialmente son equivalentes y para asegurarse de que durante el experimento continúen siéndolo (salvo por la presencia o ausencia de dicha manipulación) el experimentador debe observar que no ocurra algo que solo afecte a un grupo.

El diseño de esta investigación fue tratado de la siguiente manera:

- a) En cuanto al grupo de control sin tratamiento, se tuvieron los diseños de mezclas

convencionales sin ningún tipo de aditivo para un slump de 5" haciendo uso de arena gruesa y piedra chancada, estas mezclas también se usaron para el vaciado de concreto autocompactante.

b) El control experimental con tratamiento fueron hechas con la variable independiente; esta consistía en adicionar dosis de aditivo nanosílice en porcentajes del 1%, 1.5% y 2%, usados para la obtención de concreto autocompactante.

e) La posprueba mostró la medición de la variable dependiente, el cual fue la evaluación de fisuras en las losas de concreto armado, además también se hizo un comparativo de las resistencias a compresión de los concretos autocompactantes.

La tabla 11, muestra los elementos usados en el diseño de investigación de la presente tesis.

Tabla 11. *Elementos usados en el diseño de la investigación de la tesis.*

Grupo	Variable Independiente	Post - Prueba
Grupo de Control Concretos Tradicionales de relación a/c = 0.4, 0.5 y 0.6, sin Adición de Nanosílice	---	Sin Nanosílice Pp: Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.4, con Adición de Nanosílice	X ₁ Dosis de Nanosílice 18.07 ; 13.10; 8.19; 4.91; 3.94 y 3.28 lt/m ³	Pp ₁ : Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.5, con Adición de Nanosílice	X ₂ Dosis de Nanosílice 27.03; 19.66; 12.29; 7.37; 5.91 y 4.92 lt/m ³	Pp ₂ : Consistencia y Resistencia.
Grupo Experimental Concretos Autocompactantes de relación a/c = 0.6, con Adición de Nanosílice	X ₃ Dosis de Nanosílice 36.02;26.20;16.38;9.82; 7.88 y 6.56 lt/m ³	Pp ₃ : Consistencia y Resistencia.

Fuente: Elaboración Propia.

3.3 Población y Muestra.

Para el desarrollo de la siguiente investigación se tomará como población y muestra a los testigos de concreto para luego obtener su resistencia lo largo de los días.

3.3.1 Población.

La población (finita) estará conformada por los testigos de concretos autocompactantes resultados de las mezclas de relaciones agua/cemento de 0.4,0.5 y 0.6.

3.3.2 Muestra.

El método empleado para la selección de la muestra fue el no probabilístico e intencional.

Tipo de Muestreo: No probabilístico e intencional.

Tamaño de la muestra: 315 testigos de concreto autocompactante.

- Grupo de control: 45 probetas, al cual pertenecen tres diseños de relaciones de mezcla sin aditivo, además cada una de ellas presentará asentamientos de 5”.
- Grupo experimental: 270 probetas, formado por tres diseños diferentes de mezcla con aditivo, como resultado de mezclar dosis en porcentajes diferentes de 1%, 1.5% ; 2%; 3%; 5% y 7%, para cada una de las relaciones agua/cemento, con asentamientos de 5”.

3.4. Variable de Investigación.

3.4.1. Variable Independiente.

- Aditivo Reductor de Agua de Alto Poder GAIA Nanosílice.

3.4.2. Variables Dependientes.

- Consistencia.
- Resistencia a la compresión.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

3.5.1 Técnicas Utilizados en la Recolección de Datos.

Las técnicas de recolección de datos fueron directas y de observación, se adoptó la forma - sistemática y experimental en laboratorio siguiéndose el siguiente proceso:

- Se realizaron diseños de mezcla para relaciones $a/c=0.4$; 0.5 y 0.6, una vez obtenidas se vaciaron los testigos de concreto, que son las muestras a ser evaluadas en esta investigación, una vez obtenida las muestras patrones, se realizaron muestras de comparación realizándose diseños de mezcla de concreto autocompactante con nanosílice.
- Los diseños se comprobaron haciendo uso de los diversos ensayos por lo que tienen que pasar el concreto como control de calidad, estos ensayos están establecidos en la Norma Técnica Peruana, Una Norma Española, ACI y la ASTM.
- Se tomaron datos durante todo el proceso que engloba esta investigación, calidad (resistencia a 1d, 3d, 7d, 14d, y 28d).

Las tablas 12,13 y 14 muestran la cantidad de probetas las cuales serán sometidas al ensayo.

Tabla 12. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.4 y F'c = 280 kg/cm², sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.

	DISEÑO DE MEZCLA	DÍAS DE ENSAYO	CANTIDAD DE PROBETAS
CONCRETO PATRÓN	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² .	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 1% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
CONCRETO CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 1.5% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 2% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 3% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 5% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.4 de F'c = 280 kg/cm ² y 7% de nanosílice.	1,3,7,14 y 28	15
	TOTAL		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.5 y F'c = 210 kg/cm², sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.

	DISEÑO DE MEZCLA	DÍAS DE ENSAYO	CANTIDAD DE PROBETAS
CONCRETO PATRÓN	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ²	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 1% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
CONCRETO CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 1.5% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 2% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 3% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 5% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.5 de F'c = 210 kg/cm ² y 7% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	TOTAL		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14. Cantidad de probetas con relación A/C = 0.6 y F'c = 175 kg/cm², sometidas al ensayo de resistencia a la compresión.

	DISEÑO DE MEZCLA	DÍAS DE ENSAYO	CANTIDAD DE PROBETAS
CONCRETO PATRÓN	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ²	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 1% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 1.5% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 2% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
CONCRETO CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 3% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 5% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
	Diseño de mezcla con A/C = 0.6 de F'c = 175 kg/cm ² y 7% de nanosílice	1,3,7,14 y 28	15
TOTAL			105

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Instrumentos Utilizados en la Recolección de Datos

La recolección de datos, se realizó mediante pruebas de laboratorio, cumpliendo con los procedimientos estandarizados por la norma técnica ASTM y Normas Técnicas Peruanas, tanto para los ensayos de la arena gruesa, piedra chancada, concreto en estado fresco y endurecido, se utilizaron los siguientes formatos:

- Formato de Granulometría.
- Formato de Control de Peso Unitario.
- Formato de Control de Peso Específico.
- Formato de Propiedades Físicas de los Agregados.
- Formato Control de Tiempo de Fragua.
- Formato de Control de Slump.
- Formato de consistencia del concreto autocompactantes para (ensayo de embudo en V, ensayo de caja en L y ensayo de Esguerramiento).
- Formato de Control de Resistencia a la Compresión.

3.6 Metodología del trabajo Experimental

El trabajo experimental consistió en diseñar y elaborar 180 mezclas de concreto con diseños de mezclas de relaciones agua/cemento 0.4, 0.5 y 0.6.

Los primeros 45 diseños de mezclas formaron el grupo de control. Estas se realizaron con diseño para la resistencia a la compresión de 280 kg/cm², 210 kg/cm² y 175 kg/cm², con relaciones agua y cemento a/c = 0,40, 0,50 y 0.60, respectivamente con asentamiento de 5”.

Los siguientes 270 diseños de mezclas restantes formaron el grupo experimental. Estas se realizaron con diseño para la resistencia a la compresión de 280 kg/cm², 210 kg/cm² y 175 kg/cm² y con relaciones agua y cemento a/c = 0,40, 0.50 y 0.60, a las cuales se les añadieron nanosílice en porcentajes de 1%, 1.5%, 2%, 3%, 5% y 7% respectivamente, estas mezclas se diseñaron para tener asentamiento de 5”.

3.7. Procesamiento de Datos

Los datos se procesaron mediante hojas de cálculo Excel, generando tablas de resultado para su posterior análisis, se usó gráficos de barras y líneas, para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS.

La figura 13, muestra el esquema de ensayos de mezclas utilizando el aditivo nanosílice.

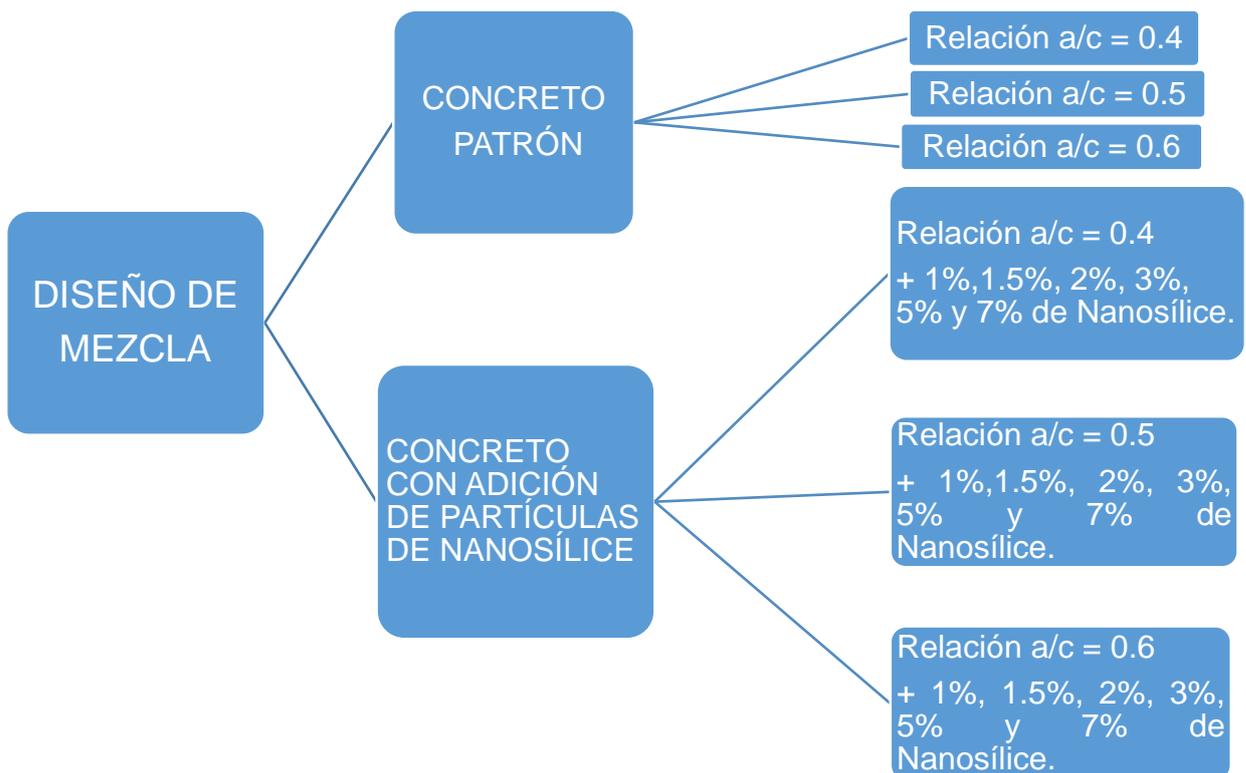


Figura 13. Esquema de relación de ensayos y diseño de mezcla.

Fuente: Elaboración Propia

3.8. Procedimiento de Investigación

3.8.1 Agregados

3.8.1.1 Arena Gruesa

Es el conjunto de partículas que es resultado de la desintegración natural de las rocas o también después de la trituración que conservan cierto índice de grosor notorio lo que la hace especialmente útil para espesar mezclas de concreto. Pueden tener un tamaño de menos de 5 mm y más de 2.5 mm.

A) Muestreo

Según La Norma Técnica Peruana NTP 400.010 se establece los procedimientos del muestreo de la piedra chancada y de la arena gruesa para los siguientes propósitos:

- Aceptación o rechazo de los materiales.
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.

B) Normas

- NTP 400.010
- ASTM D-75

C) Fuente de Abastecimiento

Como fuente de abastecimiento de la arena gruesa se utilizó la del procedente del banco del río Mantaro, localizado a la altura del distrito de Pilcomayo. Su ubicación geográfica en coordenadas UTM es: -12.051935 m E, -75.239915 m N.

A fin de que la presente investigación tenga un mayor alcance en la ciudad de Huancayo.

El agregado que se utilizara de esta cantera es arena gruesa N°4 (Natural).

Para la protección del material se optó por una cubierta plástica a fin de evitar cualquier contaminación posible.

La figura 14, muestra la ubicación geográfica de la extracción de la arena gruesa.



Figura 14. Ubicación geográfica del banco de arena de Pilcomayo.
Fuente: Google Maps.

3.8.1.2 Piedra Chancada

Es de roca ígnea (andesita), formada por el enfriamiento y solidificación de materia rocosa fundida (magma), compuesta casi en su totalidad por silicatos. Esta piedra debe ser de consistencia dura, es decir, no debe romperse fácilmente. No debe ser porosa ni tener arcilla, polvo o barro adherido a su superficie.

Esta piedra debe ser de consistencia dura, es decir, no debe romperse fácilmente. No debe ser porosa ni tener arcilla, polvo o barro adherido a su superficie. Se usa para preparar el concreto y se vende en tamaños de 1", 3/4" y 1/2".

A) Muestreo

Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.010 se establece los procedimientos del muestreo de la piedra chancada y de la arena gruesa para los siguientes propósitos:

- Aceptación o rechazo de los materiales.
- Control en la fuente de abastecimiento.
- Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- Control de las operaciones en el sitio de su utilización.

B) Normas

- NTP 400.037
- ASTM C-33

C) Fuente de Abastecimiento

Como fuente de abastecimiento de la piedra chancada se tomó en cuenta una de las canteras de mayor demanda en la ciudad de Huancayo: "CANTERA LA

CHANCADORA S.R.L.” localizado a la altura del distrito de Pilcomayo. Su ubicación geográfica en coordenadas UTM es: -12.052811 m E, -75.242327 m N.

A fin de que la presente investigación tenga un mayor alcance en la ciudad de Huancayo.

La piedra chancada que se utiliza en esta cantera es la piedra chancada (mecanizada) de TMN 3/4” cuyo control de calidad está establecido por la NTP 400.037 y garantizado por la empresa proveedora.

Para la protección del material se optó por una cubierta plástica a fin de evitar cualquier contaminación posible.

La figura 15, muestra la ubicación geográfica de la extracción de la piedra chancada.

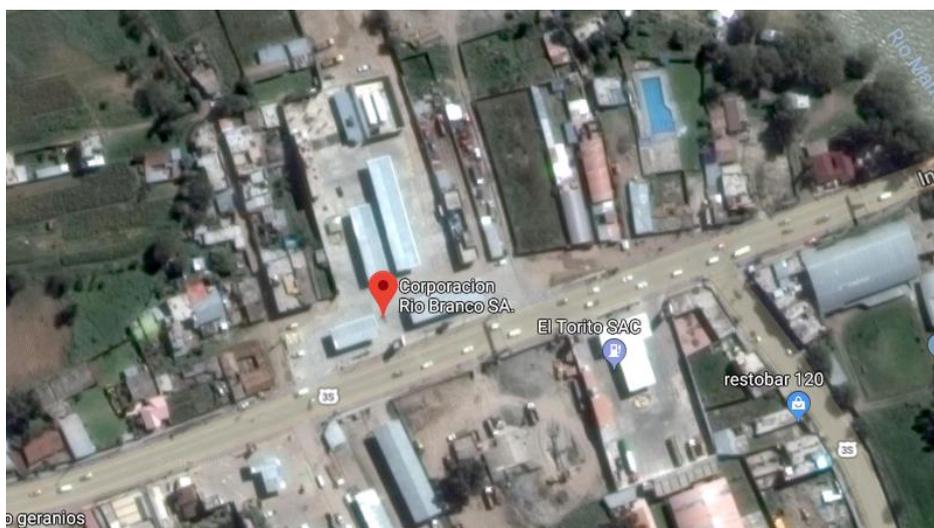


Figura 15. Ubicación geográfica de la planta chancadora de Pilcomayo.

Fuente: Google Maps.

3.8.2. Aditivo

Para la investigación, se utilizó el aditivo GAIA Nanosílice, fabricado por la empresa ULMEN, superplastificante clasificado como Tipo F y de composición química a base de nanosílice.

3.8.3. Cemento

Para la siguiente investigación, se utilizó el cemento portland tipo I de la marca andino.

3.9. Ejecución de la Investigación

Para el desarrollo del trabajo se cumplirá la siguiente secuencia:

Etapas 1: Selección de los materiales.

Etapas 2: Marco normativo de los ensayos.

Etapa 3: Investigación de las propiedades de los materiales.

Etapa 4: Diseño de mezclas.

Etapa 5: Ensayos al concreto fresco.

La figura 16, muestra el diagrama de etapas de trabajo para la presente investigación.

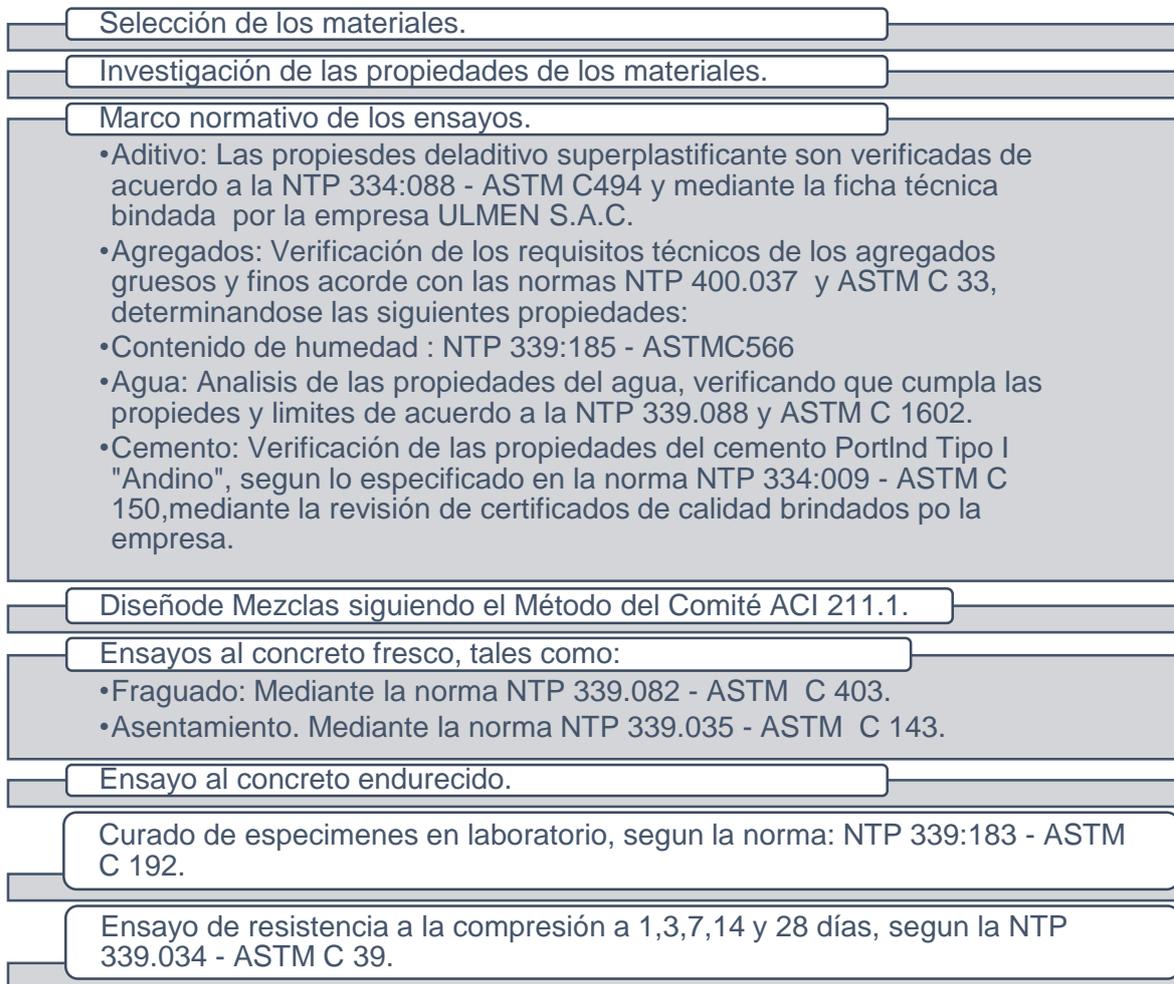


Figura 16. Diagrama de etapas de trabajo para la ejecución de la investigación.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10. Ensayos Para Determinar la Propiedad de los Materiales.

3.10.1. Cemento

Las propiedades físicas y químicas del cemento portland Tipo I "Andino" (ver tabla 8) influyen en las propiedades del concreto. Sin embargo, para el diseño de mezcla por el método ACI 318, la única propiedad del cemento que se utilizará para emplearla en el cálculo de las proporciones de la mezcla es el peso específico (P_e). En la tabla 15 se muestran, los resultados de las propiedades físicas del cemento.

Tabla 15. *Resultados de los ensayos de las propiedades físicas del cemento.*

Requisitos Físicos	Cemento Portland Tipo I
Finura Mallas (Porcentaje Retenido)	
Malla 100 ASTM	0.34
Malla 170 ASTM	3.07
Malla 200 ASTM	5.66
Malla 325 ASTM	20.42
Superficie Específica (cm ² /gr)	3300
Densidad (gr/cm ³)	3.12
Expansión Autoclave (porcentaje)	0.02
Calor de hidratación (cal/gr)	
7 días	64.93
Consistencia Normal (porcentaje)	23.38
Falso fraguado (porcentaje)	68.44
Contenido de aire (porcentaje)	6.5
Fraguado vicat (hr.min)	
Inicial	02:50
Final	03:45
Fluidez (a/c)	0.485
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	
3 días	204
7 días	289
28 días	392

Fuente: Portland Tipo I "Andino" (Pasquel 1998).

3.10.1.1 Ensayo de Consistencia Para el Cemento.

El presente ensayo está regido mediante la norma ASTM C 187.

Procedimiento

- Se pesa cemento en una cantidad de 500 gr. con una balanza de precisión ± 1 gr.
- Se mide agua en una probeta graduada una cantidad de 125 ml.
- Se coloca el agua y cemento dentro del tazón de mezcla teniendo cuidado de no perder la cantidad requerida, dejando transcurrir 30 segundos de modo que se absorba el agua.
- Se enciende la amasadora a una velocidad lenta (140 ± 5 rev/min) para el tiempo de etapa de amasado esto se hace durante un tiempo de 30 segundos.
- Después de transcurrido el tiempo se detiene por 15 segundos, eliminando toda la masa adherida a las paredes y en el fondo del recipiente.

- Después se reinicia de nuevo el tiempo de mezclado esta vez con un tiempo de $(285 \pm 10 \text{ rev/min})$ por un tiempo de 60 segundos.
- Inmediatamente después se forma una bola arrojando de mano a mano unas seis veces hasta producir una masa esférica la cual será colocada en la aguja de vicat, presionar la bola con la mano dentro del anillo cónico por el lado del diámetro mayor hasta llenarlo en su totalidad, quitando el exceso se pasta con las manos y colocando el anillo limpio con el lado de mayor diámetro sobre la placa de vidrio, enrasando el lado superior con una pasada de cuchara.
- Coloque el anillo con la pasta sobre la base del aparato de Vicat y proceda a colocar el émbolo terminal de la aguja hasta hacer contacto con la superficie de la muestra.
- Tome una lectura inicial en la escala, y luego afloje el tornillo fijador de la aguja. Accione el cronómetro y tome una lectura final después de 30 segundos. La consistencia normal se obtiene cuando la aguja penetra 10 mm en la muestra después de 30 segundos.
- Repita los pasos del 1 al 6 de este apartado, para distintos volúmenes de agua, hasta que estos sobrepasen el límite deseado (consistencia normal), es decir, hasta obtener una penetración de la aguja de Vicat superior a los 10 mm.

3.10.2. Agregados

El análisis de las propiedades físicas de los agregados (arena y piedra) es muy importante, pues influyen en gran medida en el cálculo de las proporciones de mezcla. Este es el caso de propiedades como peso específico, pesos unitarios (suelto y compactado), absorción, contenido de humedad. Los resultados de estos parámetros (tanto para la arena y la piedra) se obtuvieron mediante la ejecución de los ensayos.

3.10.2.1. Arena Gruesa

3.10.2.1.1. Muestreo

La Norma Técnica Peruana NTP 400.010 se establece los procedimientos del muestreo de la piedra chancada y de la arena gruesa para los siguientes propósitos:

- ✓ Aceptación o rechazo de los materiales.
- ✓ Control en la fuente de abastecimiento.
- ✓ Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- ✓ Control de las operaciones en el sitio de su utilización.

3.10.2.1.2. Granulometría

A) Normas:

NTP 400.012

NTP 400.037

ASTM C136

ASTM C33

La norma técnica ASTM. C 136, refiere a la granulometría como la distribución de los tamaños de partículas de un agregado determinado mediante el análisis de tamices, según la norma de “Método de Prueba estándar por Análisis del Tamiz por Arena Gruesa y Piedra Chancada”

El método de determinación granulométrico es hacer pasar las partículas por una serie de mallas de distintos anchos de entramada, actuando como filtros de los granos llamado comúnmente columna de tamices.

Los tamices que son siete varían de aberturas según el estándar de la norma ASTM C33 desde la malla N° 100 (100 micras) hasta 9.52 mm.

Para Arena Gruesa.

A) Equipo:

- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Tamices: Serie de tamices para arena gruesa: #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200.

B) Procedimiento:

- Seleccionar la muestra representativa posible y secar al aire.
- Una vez secada la muestra se pesan 1000 gramos de arena gruesa.
- Hacer pasar por una serie de tamices del tamaño de (#4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y fondo) durante un tiempo aproximado de 90 segundos.
- Una vez terminado el tamizado se pesa la cantidad retenida en cada tamiz.

En la figura 17, se muestra el ensayo de granulometría hecho a la arena gruesa.



Figura 17. Ensayo de granulometría arena.

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 16, muestra la granulometría del promedio de 3 muestras de ensayo, de la que se obtuvo la curva granulométrica (Figura 18).

Tabla 16. *Granulometría de la arena gruesa – muestra promedio.*

TAMIZ	ABERTURA mm	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Prom.	PESO RET.	% PESO RET.	% RET. ACU.	% PASAN ACU.
3/8	9.50	31.70	32.00	28.70	30.80	30.80	3.08	3.08	100.00
Nº4	4.75	37.20	38.90	38.60	38.23	38.23	3.82	6.90	96.18
Nº8	2.36	141.90	134.30	122.30	132.84	132.84	13.29	20.19	82.89
Nº16	1.18	99.60	93.00	85.40	92.67	92.67	9.27	29.45	73.63
Nº30	0.60	182.80	176.70	188.20	182.57	182.57	18.26	47.71	55.37
Nº50	0.30	330.60	355.10	380.60	355.43	355.43	35.54	83.25	19.83
Nº100	0.15	140.80	140.40	123.60	134.93	134.93	13.49	96.75	6.33
N*200	0.08	27.20	23.60	25.20	25.33	25.33	2.53	99.28	3.80
FOND O		8.20	6.00	7.40	7.20	7.20	0.72	100.00	3.08
TOTAL		1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0	100.00		
		0	0	0	0	0			

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°18, se muestra, la curva de color azul representa la curva granulométrica de la muestra promedio de la arena gruesa y se observa que la curva cumple con el Huso C establecido por la NTP, presentando buena gradación.

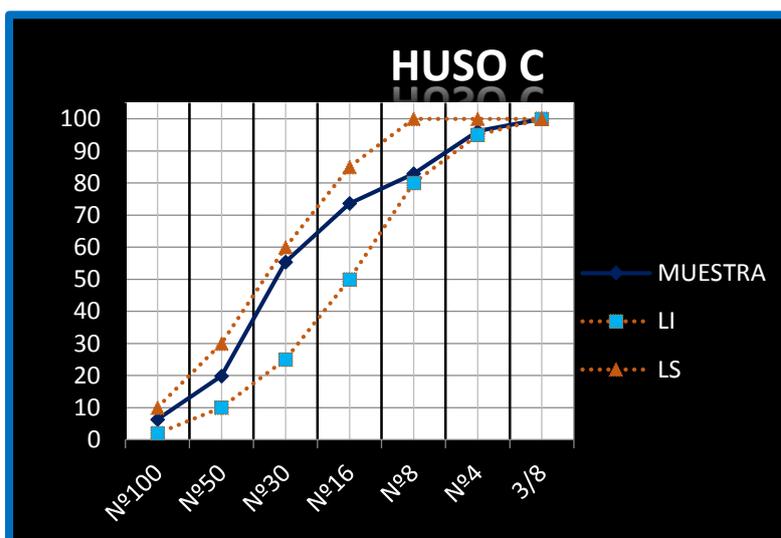


Figura 18. Curva granulométrica de la arena gruesa – muestra promedio.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.2.1.3. Módulo de Fineza.

Normas:

N.T.P. 400.022

ASTM C 136

El módulo de fineza se define como la suma de porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices 3", 1½", ¾", 3/8", # 4, # 8, # 16, # 30, # 50 y # 100 y esta cantidad se divide entre 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½".

En la apreciación del módulo de fineza se estima que los agregados finos comprendidos entre los módulos 2.2 y 2.8 producen buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son más favorables para los concretos de alta resistencia.

La tabla 17, muestra los resultados de los ensayos de módulo de fineza para la arena gruesa.

Tabla 17. Resultado de Ensayos para Módulo de Fineza para la Arena Gruesa.

TAMIZ	ABERTURA	PESO RET.	% PESO RET.	% RET. ACU.	% PASAN ACU.
3/8	9.51	30.80	3.08	3.08	100.00
Nº4	4.75	38.23	3.82	6.90	96.18
Nº8	2.381	132.83	13.28	20.19	82.89
Nº16	1.19	92.67	9.27	29.45	73.63
Nº30	0.596	182.57	18.26	47.71	55.37
Nº50	0.298	355.43	35.54	83.25	19.83
Nº100	0.148	134.93	13.49	96.75	6.33
N*200		25.33	2.53	99.28	3.80
FONDO		7.20	0.72	100.00	3.08
TOTAL		1000.00	100.00		

Módulo de fineza = 2.87

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.1.4. Ensayo de Contenido de Humedad

A) Normas:

ASTM C 70

ASTM C 127

ASTM C 128

ASTM C 566

N.T.P. 339.185

La norma técnica N.T.P. 339.185 refiere que el contenido de humedad es la cantidad de agua superficial retenida por las partículas del agregado. Viene a ser la diferencia entre el estado de humedad y el estado seco del agregado.

El grado de humedad está relacionado con la porosidad de las partículas. La porosidad depende del tamaño de poros, la permeabilidad o el volumen total de estos.

B) Equipo

- Balanza.
- Taras.
- Horno.

C) Procedimiento:

- Seleccionar una muestra representativa del material de arena gruesa para determinar la humedad.
- Colocar la muestra en una tara previamente pesada.
- Pesar 1000 gr. de muestra en el recipiente.
- Llevar al horno para el proceso de secado a una temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas.
- Al cabo de 24 horas sacar la muestra del horno, esperar a que se enfríe, inmediatamente pesar nuevamente la muestra sacada del horno.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso Humedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso Seco}} * 100$$

La figura 19, se muestra, el ensayo de humedad, para la arena gruesa.



Figura 19. Ensayo de humedad arena.

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 18, muestra los resultados de contenido de humedad para la arena gruesa.

Tabla 18. *Resultado Ensayo Contenido de Humedad.*

CANTERA PILCOMAYO				
DATOS	MUESTRA1	MUESTRA2	MUESTRA3	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA NATURAL	500.10	500.00	500.10	500.00
PESO DE LA MUESTRA SECA EN HORNO	489.80	489.50	489.60	489.63
%HUMEDAD	2.13			

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.1.5. Peso Específico.

A) Normas

- ASTM C 128
- NTP 400.022

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control, por ejemplo, en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos.

La norma técnica N.T.P. 400.022, refiere que el peso específico de masa es la característica que generalmente se utiliza para el cálculo de volumen ocupado por el agregado en las mezclas de concreto, que son proporcionadas o analizadas sobre la base del volumen absoluto.

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas, comparados a la condición seca, cuando se estima que el agregado ha estado en contacto con el agua por el tiempo suficiente para satisfacer el potencial de absorción.

B) Equipos

- Balanza con aproximación a 0.5 gr.
- Picnómetro de 500 ml de capacidad.
- Molde cónico de 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 en la parte inferior y 75 ± 3 mm de altura.

- Apisonador de varilla metálica de 25 ± 3 mm de diámetro.

C) Procedimiento:

- Seleccionar por cuarteo una muestra representativa del material de arena gruesa de 500 gr., llevar al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, después del tiempo sacar la muestra y enfriar al aire libre de 1 a 3 horas.
- Una vez fría la muestra se repite el recado hasta lograr peso constante. A continuación, se cubre toda la muestra con agua y se deja sumergida por 24 horas.
- Después del periodo de inmersión se decanta cuidadosamente el agua evitando la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando a secar la superficie de las partículas dirigiendo una corriente de aire caliente, agitando continuamente para que el secado sea uniforme.
- Cuando se empieza a observar que se está aproximando el agregado a secarse, se sujeta firmemente el molde cónico con el diámetro mayor apoyado sobre la superficie plana no absorbente, echando en su interior la muestra, luego se apisona ligeramente con una piseta con 25 golpes, levantando verticalmente el molde, si se observa humedad se continuara agitando y secando la muestra hasta que se produzca el primer desmoronamiento superficial indicando que está en condición seca.
- Inmediatamente después se introduce en el picnómetro previamente tarado, 100 gr. de muestra añadiendo agua hasta el 90 % del volumen, para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, introduciendo a agua caliente de 21° a 25°C por una hora, transcurrido se saca y se seca su superficie determinando su peso total.
- Se saca la arena gruesa del matraz y se seca en horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, luego se saca del horno y se enfría a temperatura ambiental por 1 hora determinando finalmente su peso seco.

$$\text{Peso Específico} = \frac{\text{Peso Agregado Seco}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Peso Específico} = \frac{\text{Peso Arena Gruesa Seco}}{\text{PAFS} + \text{Peso más agua} - \text{Peso más agua más Arena Gruesa}}$$

La figura 20, muestra los pasos para determinar el peso específico de la arena gruesa.



Figura 20: Ensayo del peso específico y absorción de la arena haciendo uso de una probeta graduada.

Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas 19 y 20, Muestran los resultados del ensayo de peso específico para arena gruesa.

Tabla 19. *Ensayo Peso Específico Arena Gruesa.*

DATOS	M1	M2	M3	PROMEDIO
Peso de la Muestra SSS	494.1	494.2	494.2	494.17
Peso de la Muestra Secada al Horno	487.4	487.2	487.4	487.33
Volumen Desplazado	189	189	189	189

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. *Resultado de ensayo de características de peso específico para arena gruesa.*

ENSAYOS FÍSICOS DE AGREGADOS	NORMA TÉCNICA PERUANA	RESULTADO DE ENSAYOS
Peso Específico Arena gruesa	N.T.P. 400.021	2.58

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.1.6. Absorción

A) Normas:

N.T.P. 400.022

ASTM C 128

La absorción en los agregados es el incremento en la masa por acción del agua en los poros del material, se define como la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de estado seco a la condición de saturado superficialmente seco.

La tabla 21, Muestra los resultados del ensayo de absorción para arena gruesa.

Tabla 21. *Resultado de Ensayo de Características de Absorción para Arena Gruesa.*

ENSAYOS FÍSICOS DE AGREGADOS	NORMA TÉCNICA PERUANA	RESULTADO DE ENSAYOS
Absorción para Arena gruesa	N.T.P. 400.022	1.40

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.1.7. Peso Unitario Suelto.

A) Normas:

N.T.P. 400.017

ASTM C 29

La norma técnica N.T.P. 400.017 refiere que el peso volumétrico o unitario del agregado viene a ser el peso del agregado dividido entre el volumen del objeto que lo ocupa.

B) Materiales

- Balanza.
- Molde Metálico.
- Bandejas.
- Cucharones.

C) Procedimiento:

- Se llena el recipiente mediante el uso de una pala, de modo que el agregado se descargue a una altura de 50 cm, por encima del borde, hasta llenarlo hasta el ras.
- Se enrasa la superficie con una varilla, de modo que las partes salientes se compensen con las depresiones en relación al plano de enrase.
- Se determina el peso de la masa en kg. del recipiente lleno.
- Finalmente se procede a dividir entre el volumen del recipiente que lo contiene.

$$\text{Peso Unitario Suelto} = \frac{\text{Peso del Agregado Suelto}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

La figura 21 y tabla 22 muestran el ensayo de peso unitario suelto y los resultados respectivos.



Figura 21. Ensayo Peso Unitario Suelto Arena.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto para Arena Gruesa.

	M1	M2	M3	PROM	
ARENA	PESO BRIQUETA	1.665	1.665	1.665	
	PESO SIN COMPACTAR+BRIQUETA	6.910	6.920	6.975	
	PESO SIN COMPACTAR	5.245	5.255	5.310	5.270
	VOLUMEN BRIQUETA	0.003	0.003	0.003	0.003
	P U S		1916.36		Kg/m³

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.1.8. Peso Unitario Compactado

- El agregado se coloca en el recipiente, correspondiente en tres capas de igual volumen hasta colmarlo.
- Cada una de las capas se empareja y se apisona con 25 golpes de varilla de forma helicoidal de afuera hacia adentro,
- Se repite el mismo proceso para cada una de las tres capas.
- Terminado el proceso se enrasa la superficie con la varilla a fin de que las partes salientes queden compensadas con relación al plano de enrase.
- Se determina el peso de la masa en kg. Del recipiente lleno.
- Finalmente se procede a dividir el peso entre el volumen del recipiente que lo contiene.

$$\text{Peso Unitario Compactado} = \frac{\text{Peso del Agregado Compactado}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

La figura 22 y tabla 13, muestran en ensayo realizado de peso unitario compactado y resultados respectivos.



Figura 22. Peso Unitario Compactado de la Arena.
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Compactado para Arena Gruesa.

	M1	M2	M3	PROM	
ARENA	PESO BRIQUETA	1.665	1.665	1.665	
	PESO COMPACTADO + BRIQUETA	7.197	7.181	7.180	
	PESO (Ar) COMPACTADO	5.532	5.516	5.515	5.521
	VOLUMEN BRIQUETA	0.003	0.003	0.003	0.003
P U C		2007.64		Kg/m³	

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.2. PIEDRA CHANCADA

3.10.2.2.1. Granulometría

A) Normas

NTP 400.010

ASTM D-75

B) Equipos

- ✓ Bandejas.
- ✓ Tamices.
- ✓ Cucharones.

C) Procedimiento:

- Seleccionar la muestra representativa posible y secar al aire.
- Una vez secada la muestra se pesan de 4000 a 5000 gramos de piedra chancada.
- Hacer pasar por una serie de tamices del tamaño de (1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", #4 y fondo) durante un tiempo aproximado de 90 segundos.

➤ Una vez terminado el tamizado se pesa la cantidad retenida en cada tamiz. La figura 23, muestra el instrumento realizado para la granulometría de la piedra chancada.



Figura 23. Ensayo de Granulometría Piedra Chancada.
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 24, Muestra la granulometría del promedio de 3 muestras de ensayo, de la que se obtuvo la curva granulométrica.

Tabla 24. *Granulometría Piedra Chancada – Muestra Promedio.*

TAMIZ	ABERTURA mm	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Prom.	PESO RET.	% PESO RET.	% RET. ACU.	% PASAN ACU.
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	404.10	405.60	407.10	405.60	405.60	8.11	8.11	91.89
1/2"	12.50	1319.70	1313.60	1316.70	1316.67	1316.67	26.33	34.45	65.55
3/8"	9.50	1616.20	1480.80	1766.20	1621.07	1621.07	32.42	66.87	33.13
N°4	4.75	1660.00	1800.00	1510.00	1656.67	1656.67	33.13	100.00	0.00
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
FONDO		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	100.00		

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°24, muestra, la curva de color azul que representa la curva granulométrica de la muestra promedio de piedra chancada y se observa que la curva cumple con el Huso 67 establecido por la NTP, para agregados cuyo tamaño máximo nominal es de 3/4" presentando buena gradación.

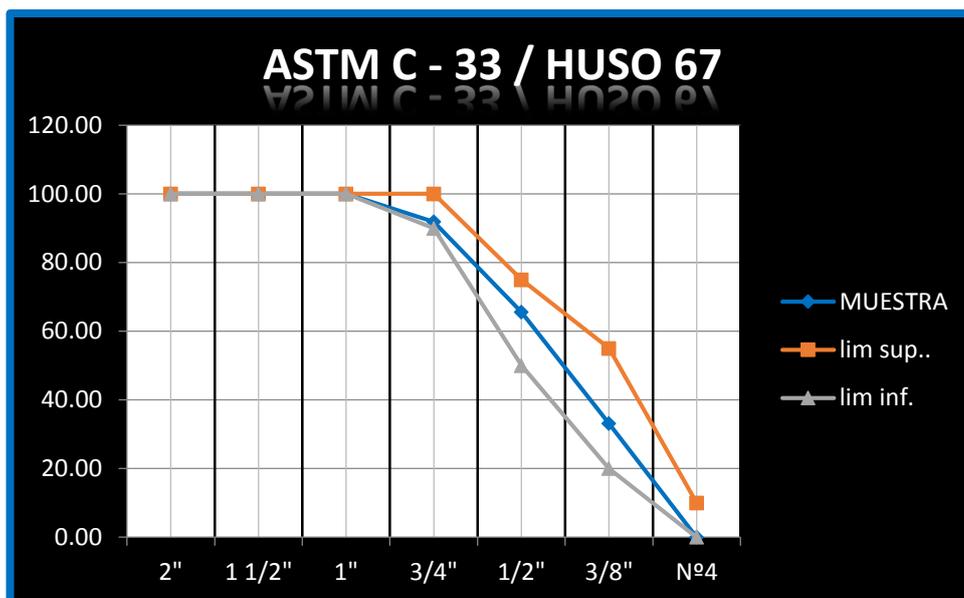


Figura 24. Representación de la curva granulométrica de la muestra promedio de Piedra Chancada.

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.2.2.2. MÓDULO DE FINEZA

A) Normas

NTP 400.022

ASTM C136

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El módulo de fineza, no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de los mismos.

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", # 4, #8, # 16, # 30, # 50 y # 100 y esta cantidad se divide entre 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y 1/2".

El sustento matemático del Módulo de Fineza reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

La tabla 25 muestra el resultado para el módulo de fineza de la piedra chancada.

Tabla 25. *Módulo de Fineza de la Piedra Chancada.*

TAMIZ	PESO RET.	% PESO RET.	% RET. ACU.	% PASAN ACU.
2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	405.60	8.11	8.11	91.89
1/2"	1316.67	26.33	34.45	65.55
3/8"	1621.07	32.42	66.87	33.13
Nº4	1656.67	33.13	100.00	0.00
TOTAL	5000.00	100.00		

Módulo de Fineza = 6.75

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.2.3. Ensayo de Contenido de Humedad.

A) Normas.

- NTP 339.185
- ASTM C566

La Norma NTP 339.185 define la metodología para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de arena gruesa o grueso por secado.

B) Materiales.

- Balanzas.
- Taras.
- Horno.

C) Procedimiento:

- Pesar 1000 gr. de muestra de piedra chancada, anotando el peso.
- Llevar la muestra al horno a una temperatura de 110 ± 5 ° C por un tiempo de 24 horas.
- Sacar del horno después de las 24 horas y pesar.

La figura 25, muestra el ensayo de humedad, para la piedra chancada.



Figura 25. Ensayo de Humedad Piedra (muestra húmeda y muestra secada al horno).
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 26, muestra el resultado de humedad, para la piedra chancada.

Tabla 26. Cuadro de Resultados Ensayo de Humedad Piedra Chancada.

ENSAYO DE HUMEDAD PIEDRA CHANCADA				
DATOS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA NATURAL	1005.80	1005.50	1005.30	1005.53
PESO DE LA MUESTRA SECA EN HORNO	1001.00	1000.90	1001.2	1001.03
%HUMEDAD		0.45		

Fuente: Elaboración Propia.

3.10.2.2.4. Peso Específico.

A) Normas.

N.T.P. 400.021

ASTM C 127

La Norma NTP 400.021 indica el método para determinar el peso específico de masa, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) de la piedra chancada.

B) Materiales:

- Balanza, con aproximación al 0.5gr y con capacidad de 300 gr o más, la balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente de agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- Tamiz normalizado N° 4.
- Depósito de agua.
- Cesta con malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N°6.
- Horno.

C) Procedimiento:

- Lavar la muestra hasta asegurarse que hayan sido eliminados el polvo u otros recubrimientos superficiales de partículas, para luego ser secados en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C.
- Dejar enfriar al aire a temperatura ambiente durante un tiempo de 1 a 3 horas.
- Una vez fría la muestra se pasa y se sumerge en agua por un tiempo de 24 horas.
- Después del periodo de inmersión se saca la muestra del agua y se procede a secar cada una de las partículas con una franela, hasta que se elimine el agua

superficial visible, luego se determina el peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco.

- Colocar inmediatamente la muestra en estado saturado superficialmente seco en una canastilla metálica y determinar su peso sumergido en el agua.
- Secar la muestra al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, para luego enfriarla a temperatura de ambiente durante 1 a 3 horas para luego determinar su peso seco.

$$\text{Peso Especifico} = \frac{\text{Peso Agregado Seco}}{\text{Volumen}}$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso Agregado Saturado Superficialmente Saturado} - \text{Peso Agregado Seco}}{\text{Peso Agregado Seco}}$$

La figura 26, muestra el ensayo del peso específico, para la piedra chancada.



Figura 26: Ensayo del Peso Especifico y Absorción de la Piedra Haciendo uso de la Canastilla.

Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 27, muestra el resultado del peso específico, para la piedra chancada.

Tabla 27. *Resultado del Ensayo Peso Específico Piedra Chancada.*

DATOS	M1	M2	M3	PROM
PESO DE LA MUESTRA SSS	1003.60	1003.90	1003.50	1003.67
PESO DE LA MUESTRA SECADO AL HORNO	998.80	998.20	997.8	1001.33
PESO MUESTRA SSS + PESO DE CANASTILLA	3330.00	3332.00	3335.00	3332.33
PESO DE LA MUESTRA SSS DENTRO DEL AGUA	1370.00	1372.00	1375.00	1444.33
PESO DE LA CANASTILLA	1960.00	1960.00	1960.00	1960.00
PESO ESPECÍFICO	2.71 gr/cm³.			

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.2.5. Absorción

A) Normas.

ASTM C 127

NTP 400.021

La absorción en los agregados, es el incremento en la masa del agregado por acción del agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca.

B) Materiales.

- Balanza.
- Depósito de agua.
- Horno.

C) Procedimiento.

Consiste en sumergir la muestra durante 24 horas en agua, para luego llevarla a la condición de densidad aparente (SSS); una vez obtenida, se pesa y se coloca la muestra al horno, la diferencia de pesos expresado como un porcentaje de peso de la muestra seca, es la capacidad de absorción.

La tabla 28, muestra el resultado de ensayo de absorción, para la piedra chancada.

Tabla 28. Resultado de Ensayo de Absorción Piedra Chancada.

CHANCADORA PILCOMAYO				
DATOS	MUESTRA1	MUESTRA2	MUESTRA3	PROMEDIO
PESO DE LA MUESTRA SSS	1003.6	1003.9	1003.5	1003.67
PESO DE LA MUESTRA	998.8	998.2	997.8	998.27
SSECADO AL HORNO				
ABSORCIÓN			0.54	

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.2.6. Ensayo Peso Unitario Suelto Piedra.

A) Normas.

ASTM C29

NTP 400.017

B) Equipos.

- Balanza de aproximación de 0.5 gr, con capacidad de 5000 gr. a más
- Cesta con malla de alambre N°6.
- Horno.
- Bandejas.

C) Procedimiento.

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- Llenar el recipiente, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50mm (2") por encima de la parte superior del recipiente.
- El agregado sobrante se elimina cuidadosamente con una regla, evitando cualquier compactación.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido y el peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

La figura 27, muestra el ensayo de peso unitario suelto, para la piedra chancada.



Figura 27. Ensayo Peso Unitario Suelto del Piedra Chancada.
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 29, muestra los resultados de peso unitario suelto, para la piedra chancada.

Tabla 29. Resultados del Ensayo de Peso Unitario Suelto Piedra Chancada.

PIEDRA	DATOS	M1	M2	M3	PROM
	PESO BRIQUETA	5.470	5.470	5.470	
	PESO SIN COMPACTAR+ BRIQUETA	26.105	25.980	26.680	
	PESO (Pr) SIN COMPACTAR	20.635	20.510	21.210	20.785
	VOLUMEN BRIQUETA	0.014	0.014	0.014	0.014
P U S		1511.64			kg/m³

Fuente: Elaboración Propia

3.10.2.2.7. Peso Unitario Compactado de la Piedra.

A) Normas

NTP 400.017

ASTM C29

Método del Varillado o Apisonado: Este método se realiza cuando el tamaño máximo del agregado es menor a 50 milímetros (2 pulgadas). Para este método utilizamos una muestra, la cual tendrá que ser secada al aire previamente.

La figura 28, muestra los ensayos y resultados de peso unitario compactado, para la piedra chancada.



Figura 28. Ensayo Peso Unitario Compactado Piedra Chancada.
Fuente: Elaboración Propia.

La tabla 30, muestra los resultados de peso unitario compactado, para la piedra chancada.

Tabla 30. *Resultados de Peso Unitario Compactado Piedra Chancada.*

DATOS		M1	M2	M3	PROM
PIEDRA	PESO BRIQUETA	5.47	5.47	5.47	5.47
	PESO COMPACTADO + BRIQUETA	27.49	27.405	27.42	27.44
	PESO (Pr) COMPACTADO	22.02	21.935	21.95	21.968
	VOLUMEN BRIQUETA	0.014	0.014	0.014	0.014
PUC		1597.70 kg/m³			

Fuente: Elaboración Propia

3.11. Diseño de Mezclas de Concreto.

El diseño de mezclas se realizó para concretos de resistencias de $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$, 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 .

En la presente investigación se diseñó una mezcla patrón para cada $F'c$ sin considerar las adiciones de nanosílice obteniéndose 3 mezclas patrón.

Selección de Slump

Para el diseño de mezclas patrón, así como también para el diseño de mezclas con adición de nanosílice se ha determinado el valor del Slump que será de 6" que garantizan que las mezclas tengan consistencia plástica.

La tabla 31, muestra los resultados de los ensayos de los agregados para los diseños de mezclas.

Tabla 31. *Datos de materiales para el diseño de mezclas.*

COMPONENTE	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Peso Específico	2.71	2.58	3.13
Absorción (%)	0.54	1.40	
Humedad (%)	0.45	2.13	
Peso Unitario Suelto (PUS)	1511.64	1916.36	
Peso Unitario Compactado (PUC)	1597.7	2007.64	
Diámetro Nominal Máximo	3/4"		
Módulo de Fineza	6.75	2.87	

Fuente: Elaboración Propia

3.11.1. Mezcla patrón $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Cálculo de la Cantidad de Agua

Para la selección de la cantidad de agua se ha realizado un ajuste en las cantidades de agua donde se verificó las proporciones calculadas de mezcla de prueba preparadas y

probadas de acuerdo a la norma ASTM C192, de ello solo se emplea la cantidad de agua suficiente para producir el asentamiento requerido, en este caso el slump diseñado es de 5".

La tabla 32, muestra los requisitos de agua utilizada para el diseño de las mezclas.

Tabla 32. *Requisitos del Agua Para la Mezcla.*

TABLA: REQUISITOS DEL AGUA PARA LA MEZCLA								
DIAMETRO MAXIMO NOMINAL								
ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	216	205	197	174	174	166	154	-

**CON AIRE
INCORPORADO**

Fuente: Comité American Concrete Institute.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 280 kg/cm² entonces el f'cr = 280 + 84 = 364 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.4$$

Cálculo de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.289 * 2.58 * 1000 = 745.39 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³)

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.002 = 0.289$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.289	0.003

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 745.39 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 761.27 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(700.24 * \left(\frac{2.13-1.40}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{0.54-0.45}{100}\right)\right) - (0.25\% * 481) = 182.53 \text{ lts.}$$

La tabla 33, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 280 kg/cm².

Tabla 33. *Diseño de mezcla para concreto f'c= 280 kg/cm².*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bis.	DISEÑO	
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	42.50	15.38
H2O	188	0.188	183	0.37	183	0.37	15.58	5.64
Pd	979	0.361	983	1.98	983	1.98	83.94	30.37
Ar	745	0.289	761	1.53	761	1.53	64.99	23.51
% Aire	0.25%	0.0025			1.24	0.025	0.106	0.04
Incluido								

Fuente: Elaboración Propia

3.11.2. Mezcla de F'c = 280 kg/cm² + 1% de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua.

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 280 kg/cm² entonces el f'cr = 280 + 84 = 364 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
		$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$			
		a/c = 0.4			

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.279 * 2.58 * 1000 = 719.59 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 \cdot 1000} = 0.361$$

Aditivo Incorporador de Aire = 0.0025

Aditivo Nanosilíce = 0.01

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.01 = 0.279$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aditivo Aire	Aditivo Nanosilíce
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.279	0.0025	0.01

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 719.59 \cdot \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 734.92 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 \cdot \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(719.59 \cdot \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979 \cdot \left(\frac{0.54 - 0.45}{100}\right)\right) - 1\% \cdot 498 - 0.25\% \cdot 498 = 177.74 \text{ lts.}$$

La tabla 34, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosilíce.

Tabla 34. *Diseño de mezcla para concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosilíce.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO	
C	498	0.1590	498	1.00	498	1.00	42.50	15.38
H2O	188	0.1880	177.74	0.36	178	0.36	15.17	5.49
Pd	979	0.3610	983.26	1.98	983	1.98	83.94	30.37
Ar	720	0.2610	734.92	1.48	735	1.48	62.74	22.70
Nanosilíce	1.0%	0.001		0.01	4.98	0.01	0.43	0.15
% Aire	0.25%	0.0025		0.003	1.24	0.0025	0.106	0.04
Incluido								

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.3. Mezcla de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosilíce.

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 280 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 280 + 84 = 349 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$ $a/c = 0.4$					

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.274 * 2.58 * 1000 = 706.69 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$\text{Aditivo} = 0.01$$

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.015 = 0.274$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.274	0.0025	0.015

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 661.54 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 706.69 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(661.54 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979 * \left(\frac{0.54 - 0.45}{100}\right)\right) - (1.5\% + 0.25\%) * 498 = 175.34 \text{ lts.}$$

La tabla 35, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 280 kg/cm² + 1.5% de Nanosílice.

Tabla 35. *Diseño de mezcla para concreto f'c= 280 kg/cm² + 1.5% de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	15.38
H2O	188	0.188	175.34	0.35	177	0.35	5.42
Pd	979	0.361	983.26	1.98	983	1.98	30.37
Ar	707	0.274	721.74	1.45	676	1.45	22.29
Nanosílice	1.5%	0.015	7.47	0.02	7.47	0.02	0.23
% Aire Incluido	0.25%	0.0025	1.24	0.0025			

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.4. Mezcla de F'c = 280 kg/cm² + 2.0% de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 280 kg/cm² entonces el f'cr = 280 + 84 = 349 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.4$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.269 * 2.58 * 1000 = 693.79 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$\text{Aditivo} = 0.02$$

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.020 = 0.269$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.269	0.0025	0.020

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 693.79 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 708.57 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(648.64 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979 * \left(\frac{0.54 - 0.45}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.02) * 498 = 172.95 \text{ lts.}$$

La tabla 36, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 280 kg/cm² + 2% de Nanosílice.

Tabla 36. *Diseño de Mezcla Para Concreto f'c= 280 kg/cm² + 2% de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.ANDA 1Bls	DISEÑO
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	15.38
H2O	188	0.188	172.95	0.35	172.95	0.35	5.34
Pd	979	0.361	983.26	1.98	983	1.98	30.37
Ar	694	0.269	708.57	1.33	709	1.42	21.89
Nanosílice	2%	0.02	9.96	0.02	9.96	0.02	0.31
% Aire Incluido	0.25%	0.025	1.24			0.003	0.04

Fuente: Elaboración Propia

3.11.5. Mezcla de F'c = 280 kg/cm² + 3.0% de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 280 kg/cm² entonces el f'cr = 280 + 84 = 349 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
		$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$			
		a/c = 0.4			

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 \cdot 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.251 \cdot 2.58 \cdot 1000 = 648.64 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 \cdot 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 \cdot 1000} = 0.361$$

$$\text{Aditivo} = 0.02$$

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.03 - 0.0025 = 0.259$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.259	0.0025	0.03

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 648.64 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 667.99 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(648.64 * \left(\frac{2.13-1.40}{100}\right)\right) - \left(979 * \left(\frac{0.54-0.45}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.03) * 498 = 168.16 \text{ lts.}$$

La tabla 37, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.

Tabla 37. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.TANDA 1Bis	DISENO
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	15.38
H2O	188	0.188	168.16	0.34	168	0.34	5.19
Pd	979	0.361	983.26	1.98	983	1.98	30.37
Ar	668	0.259	682.22	1.37	682	1.37	21.07
Nanosílice	3%	0.03	14.94	0.03	14.94	0.03	0.46
% Aire Incluido	0.25%	0.0025	1.24	0.0025	1.24	0.003	0.04

Fuente: Elaboración Propia

3.11.4. Mezcla de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 5.0\%$ de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 280 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 280 + 84 = 349 \text{ kg/cm}^2$.

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
		$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$			
		$a/c = 0.4$			

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.239 * 2.58 * 1000 = 616.39 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

Aditivo = 0.05

Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.05 - 0.0025 = 0.239

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.239	0.02	0.003

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

Arena = $616.39 * (1 + \frac{2.13}{1000}) = 629.52 \text{ kg}$

Piedra = $979 * (1 + \frac{0.45}{1000}) = 983.26 \text{ kg}$

Agua = $188 - (648.64 * (\frac{2.13-1.40}{100})) - (979 * (\frac{0.54-0.45}{100})) - (0.05 + 0.0025) * 498 = 158.58 \text{ lts.}$

La tabla 38, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.

Tabla 38. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.TANDA 1Bls	DISEÑO
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	15.38
H2O	188	0.188	159	0.32	159	0.32	4.90
Pd	979	0.361	983	1.98	983	1.98	30.37
Ar	617	0.239	630	1.26	630	1.26	19.45
Nanosílice	5%	0.05	24.89	0.05	24.89	0.05	0.77
% Aire Incluido	0.25%	0.003	1.24	0.003	1.24	0.003	0.003

Fuente: Elaboración Propia

3.11.4. Mezcla de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 7.0\%$ de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c, el $f'c$ de diseño es de 280 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 280 + 84 = 349 \text{ kg/cm}^2$.

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.4$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.4} = 497.84 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.219 * 2.58 * 1000 = 564.79 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{497.84}{3.13 * 1000} = 0.159$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$\text{Aditivo} = 0.02$$

$$Ar = 1 - 0.159 - 0.188 - 0.361 - 0.07 - 0.0025 = 0.219$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.159	0.188	0.361	0.219	0.003	0.050

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 564.79 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 576.82 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(648.64 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979 * \left(\frac{0.54 - 0.45}{100}\right)\right) - (0.07 + 0.0025) * 497.84 = 149.00 \text{ lts.}$$

La tabla 39, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.

Tabla 39. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.TANDA 1BIs	DISENO
C	498	0.159	498	1.00	498	1.00	15.38
H2O	188	0.188	149	0.30	149	0.30	4.60
Pd	979	0.361	983	1.98	983	1.98	30.37
Ar	565	0.219	577	1.16	577	1.16	17.82
Nanosílice	7%	0.07	34.85	0.07	34.85	0.07	1.08
% Aire Incluido	0.25%	0.003	0.25%	0.25	1.24	0.003	0.04

Fuente: Elaboración Propia

3.11.5. Mezcla patrón $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para la selección de la cantidad de agua se ha realizado un ajuste en las cantidades de agua donde se verificó las proporciones calculadas de mezcla prueba preparadas y probadas de acuerdo a la norma ASTM C192, de ello solo se emplea la cantidad de agua suficiente para producir el asentamiento requerido, en este caso el slump diseñado fue de 5".

TABLA: REQUISITOS DEL AGUA PARA LA MEZCLA								
DIAMETRO MAXIMO NOMINAL								
ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	216	205	197	174	174	166	154	-

**CON AIRE
INCORPORADO**

$$\frac{7-4}{4-5} = \frac{197-184}{184-H_2O}$$

$H_2O = 188 \text{ lts.}$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 210 kg/cm² entonces el f'cr = 210 + 84 = 294 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350-280}{280-349} = \frac{0.4-0.48}{0.48-a/c}$$

$a/c = 0.5$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.324 * 2.58 * 1000 = 836.85 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.324 - 0.0025 = 0.324$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.324	0.0025

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 837 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 854.66 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 197 - \left(791.70 * \left(\frac{2.13-1.40}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{0.45-0.54}{100}\right)\right) - (0.0025) * 498 = 182.14 \text{ lts.}$$

La tabla 40, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 210 kg/cm².

Tabla 40. *Diseño de Mezcla Para Concreto f'c= 210 kg/cm².*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bis	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	26.56
H2O	188	0.188	182	0.47	183	0.47	12.59
Pd	979	0.361	983	2.54	983	2.54	67.51
Ar	837	0.324	855	2.21	809	2.21	55.51
% Aire	0.25%	0.003				0.003	0.024
Incluido							

Fuente: Elaboración Propia

3.11.6. Mezcla patrón F'c = 210 kg/cm² + 1% de Nanosílice.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 210 kg/cm² entonces el f'cr = 210 + 84 = 294 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$ $a/c = 0.5$					

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.314 * 2.58 * 1000 = 811.05 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.01 = 0.314$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.314	0.003	0.010

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 811.05 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 828.33 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 197 - \left(828.33 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - (0.01 * 386.88) = 178.46 \text{ lts.}$$

La tabla 41, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosílice.

Tabla 41. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.TANDA 1BIs	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	11.95
H2O	188	0.188	178	0.49	178	0.46	5.51
Pd	979	0.361	983	2.53	983	2.54	30.37
Ar	811	0.314	828	2.10	828	2.14	25.59
Nanosílice	1.0%	0.010	3.87	0.01	3.87	0.01	0.120
% Aire Incluido	0.25%	0.003		0.003	0.97	0.003	

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.7. Mezcla patrón $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.

Cálculo del agua.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 210 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.5$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.309 * 2.58 * 1000 = 798.15 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 \cdot 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.015 = 0.309$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aditivo	Aditivo
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.309	0.0025	0.015

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 798.15 \cdot \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 8215.15 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 \cdot \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 197 - \left(798.15 \cdot \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 \cdot \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.015) \cdot 386.88 = 177.58$$

lts.

La tabla 42, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.

Tabla 42. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P.TANDA 1BIs	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	11.95
H2O	188	0.188	178	0.49	178	0.46	5.49
Pd	979	0.361	983	2.53	983	2.54	30.37
Ar	798	0.309	815	2.06	815	2.11	25.18
Nanosílice	1.5%	0.015	5.81	0.015	5.81	0.015	0.18
% Aire Incluido	0.25%	0.003	0.003	0.003	0.02	0.003	

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.8. Mezcla patrón $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 2.0\%$ de Nanosílice.

Cálculo del agua.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 210 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.5$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.304 * 2.58 * 1000 = 785.42 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.02 = 0.304$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.304	0.0025	0.02

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 785.42 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 801.98 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(785.42 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - (0.02 + 0.0025) * 386.88 = 175.74 \text{ lts.}$$

La tabla 43, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 210 kg/cm² + 2% de Nanosílice.

Tabla 43. *Diseño de Mezcla Para Concreto f'c= 210 kg/cm² + 2% de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	26.56
H2O	188	0.188	176	0.45	176	0.45	12.09
Pd	979	0.361	983	2.54	983	2.54	67.51
Ar	785	0.304	802	2.07	802	2.07	51.90
Nanosílice	2.0%	0.020	7.74	0.85	7.74	0.85	0.53
% Aire	0.25%	0.003	0.003		0.02	0.020	
Incluido							

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.8. Mezcla patrón F'c = 210 kg/cm² + 3.0% de Nanosílice.

Cálculo del agua.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) seleccionamos la relación a/c , el f'_{cr} de diseño es de 210 kg/cm^2 entonces el $f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.

f'_{cr}	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.5$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.294 * 2.58 * 1000 = 759.45 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.03 = 0.294$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.294	0.003	0.03

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 759.45 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 775.63 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(740.10 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.03) * 387 = 172.06 \text{ lts.}$$

La tabla 44, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.

Tabla 44. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	$V=1.00\text{m}^3$	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bls	DISEÑO	
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	42.50	26.56
H2O	188	0.188	172	0.49	172	0.44	18.90	12.09
Pd	979	0.361	983	2.53	983	2.54	108.01	67.51
Ar	759	0.294	776	1.96	776	2.00	85.21	51.90
Nanosílice	3.0%	0.030	11.61	0.03	11.61	0.03	1.28	0.80
% Aire	0.25%	0.003	0.003		0.003	0.003		
Incluido								

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.8. Mezcla patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5.0\%$ de Nanosílice.

Cálculo del agua.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 210 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.

$f'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.5$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.304 * 2.58 * 1000 = 785.25 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.02 = 0.304$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.124	0.188	0.361	0.304	0.003	0.05

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 740.10 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 759.87 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(740.10 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.05) * 386.88 = 176.07 \text{ lts.}$$

La tabla 45, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.

Tabla 45. Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 5\%$ de Nanosílice.

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	21.25
H2O	188	0.188	172	0.49	176	0.44	9.67
Pd	979	0.361	983	2.53	983	2.54	54.00
Ar	759	0.294	776	1.96	776	2.00	41.51
Nanosílice	5.0%	0.05	19.35	0.05	19.35	0.05	1.06
% Aire Incluido	0.25%	0.003	0.003			0.003	

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.8. Mezcla patrón $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 7.0\%$ de Nanosílice.

Cálculo del agua.

$$\frac{7 - 4}{4 - 5} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 210 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.5$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.5} = 386.88 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 978.86 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.254 * 2.58 * 1000 = 656.35 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{386.88}{3.13 * 1000} = 0.124$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{978.86}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.124 - 0.188 - 0.361 - 0.003 - 0.07 = 0.254$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
----------	---------	------	--------	-------	------	---------

Volumen	0.124	0.188	0.361	0.254	0.003	0.07
---------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 656.35 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 670.87 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 978.86 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(740.10 * \left(\frac{0.45-0.54}{100}\right)\right) - \left(978.86 * \left(\frac{2.13-1.40}{100}\right)\right) - (0.025+0.07) * 386.88 = 157.34 \text{ lts.}$$

La tabla 46, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.

Tabla 46. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2 + 7\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bl	DISEÑO
C	387	0.124	387	1.00	387	1.00	26.56
H2O	188	0.188	157	0.41	157	0.41	12.09
Pd	979	0.361	983	2.54	983	2.54	67.51
Ar	656	0.254	670	1.70	670	1.73	51.90
Nanosílice	7.0%	0.070	27.09	0.07	27.09	0.07	1.86
% Aire Incluido	0.25%	0.003	0.02			0.03	

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.9. Mezcla patrón $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Para la selección de la cantidad de agua se ha realizado un ajuste en las cantidades de agua donde se verificó las proporciones calculadas de mezcla de prueba preparadas y probadas de acuerdo a la norma ASTM C192, de ello solo se emplea la cantidad de agua suficiente para producir el asentamiento requerido, en este caso el slump diseñado fue de 5".

TABLA: REQUISITOS DEL AGUA PARA LA MEZCLA								
DIAMETRO MAXIMO NOMINAL								
ASENTAMIENTO	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1"-2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3"-4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6"-7"	216	205	197	174	174	166	154	-

**CON AIRE
INCORPORADO**

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c, el $f'c$ de diseño es de 175 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$.

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.6$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.341 * 2.58 * 1000 = 879.89 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{334.67}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.003 = 0.341$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.341	0.003

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 879.39 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 899.32 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(834.74 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.003) * 334.67 = 182.79 \text{ lts.}$$

La tabla 47, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 175 kg/cm².

Tabla 47. Diseño de Mezcla Para Concreto f'c= 175 kg/cm².

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	335	0.107	335	1.00	335	1.00	21.25
H2O	188	0.188	183	0.55	183	0.55	11.61
Pd	979	0.361	983	2.94	983	2.94	62.43
Ar	880	0.341	899	2.69	899	2.69	57.06
% Aire	0.25%	0.003	0.03			0.03	
Incluido							

Fuente: Elaboración Propia.

3.11.10. Mezcla patrón F'c = 175 kg/cm² + 1% de Nanosílice.

Cálculo de la Cantidad de Agua.

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'_{cr}) seleccionamos la relación a/c , el f'_{c} de diseño es de 175 kg/cm^2 entonces el $f'_{cr} = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$.

f'_{cr}	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
		$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$			
		$a/c = 0.6$			

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.331 * 2.58 * 1000 = 854.25 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{335}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.01 = 0.331$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.331	0.003	0.01

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 854.25 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 872.28 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(808.94 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.01 + 0.03) * 334.67 = 179.63 \text{ lts.}$$

La tabla 48, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'_{c} = 175 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosílice.

Tabla 48. *Diseño de Mezcla Para Concreto $f'_{c} = 175 \text{ kg/cm}^2 + 1\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	335	0.107	335	1.00	335	1.00	42.50 21.25
H2O	188	0.188	179	0.56	180	0.54	22.85 11.43
Pd	979	0.361	983	2.92	983	2.94	124.87 62.43
Ar	854	0.331	872	2.55	872	2.67	110.77 52.46
Nanosílice	1.0%	0.01	3.35	0.01	3.35	0.01	0.425 0.215
% Aire Incluido	0.25%	0.0025			0.02	0.03	

Fuente: Elaboración Propia

3.11.11. Mezcla patrón F'c = 175 kg/cm² + 1.5% de Nanosílice

Cálculo de la Cantidad de Agua.

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 175 kg/cm² entonces el f'cr = 175 + 70 = 245 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.6$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.326 * 2.58 * 1000 = 841.24 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{335}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.015 = 0.326$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.326	0.003	0.015

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 841.24 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 859.11 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(796.04 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.003 + 0.015) * 334.67 = 178.05$$

lts.

La tabla 49, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 175 kg/cm² + 1.5% de Nanosílice.

Tabla 49. Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 1.5\%$ de Nanosílice.

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bis	DISEÑO
C	335	0.107	335	1.00	335	1.00	21.25
H2O	188	0.188	178	0.56	178	0.53	11.33
Pd	979	0.361	983	2.92	983	2.94	62.43
Ar	841	0.326	859	2.51	859	2.57	51.62
Nanosílice	1.5%	0.015	5.03	0.015	5.03	0.015	0.32
% Aire Incluido	0.25%	0.003			0.003	0.003	

Fuente: Elaboración Propia

3.11.12. Mezcla patrón $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 2.0\%$ de Nanosílice

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 175 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.6$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.321 * 2.58 * 1000 = 828.05 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m^3):

$$C = \frac{335}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.02 = 0.321$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.321	0.003	0.02

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 828.05 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 846.37 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(783.14 * \left(\frac{2.13-1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 * \left(\frac{0.45-0.54}{100}\right)\right) - (0.0025+0.02) = 176.47 \text{ lts.}$$

La tabla 50, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 2\%$ de Nanosílice.

Tabla 50. *Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 2\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISENO
C	335	0.107	335	1.00	335	1.00	21.25
H2O	188	0.188	176	0.56	176	0.53	11.23
Pd	979	0.361	983	2.92	983	2.94	62.43
Ar	828	0.321	846	2.47	846	2.53	50.79
Nanosílice	2.0%	0.020	6.70	0.02	6.70	0.02	0.425
% Aire Incluido	0.25%	0.003				0.020	

Fuente: Elaboración Propia

3.11.12. Mezcla patrón $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 3.0\%$ de Nanosílice

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 175 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$.

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.6$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.311 * 2.58 * 1000 = 802.49 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{335}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 \cdot 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.025 - 0.03 = 0.311$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.311	0.003	0.03

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 802.49 \cdot \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 819.58 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 \cdot \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(819.58 \cdot \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 \cdot \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.03) \cdot 335 = 173.32 \text{ lts.}$$

La tabla 51, muestra los resultados del diseño de mezcla con $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.

Tabla 51. *Diseño de mezcla para concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 3\%$ de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1Bis	DISEÑO
C	335	0.107	335	1.00	335	42.50	21.25
H2O	188	0.188	173	0.52	173	22.01	11.23
Pd	979	0.361	983	2.94	983	124.87	62.43
Ar	802	0.311	820	2.45	820	104.08	52.04
Nanosílice	3.0%	0.030	10.05	0.03	10.05	0.03	0.64
% Aire Incluido	0.25%	0.003	0.02		0.02	0.025	

Fuente: Elaboración Propia

3.11.12. Mezcla patrón $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 5.0\%$ de Nanosílice

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida ($f'cr$) seleccionamos la relación a/c , el $f'c$ de diseño es de 175 kg/cm^2 entonces el $f'cr = 175 + 70 = 245 \text{ kg/cm}^2$.

$F'cr$	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74
$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$					
$a/c = 0.6$					

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 \cdot 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.291 \cdot 2.58 \cdot 1000 = 751.14 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{335}{3.13 \cdot 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 \cdot 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.05 = 0.304$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.304	0.0025	0.05

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 751.14 \cdot \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 767.36 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 \cdot \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(751.14 \cdot \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 \cdot \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.05) \cdot 334.67 = 167 \text{ lts.}$$

La tabla 52, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 175 kg/cm² + 5% de Nanosílice.

Tabla 52. *Diseño de mezcla para concreto f'c = 175 kg/cm² + 5% de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION	P.	D.OBRA	P.	P. TANDA	DISENO
		POR HUMEDAD	UNITARIO		UNITARIO	1Bls	
C	335	0.107	335	335	1.00	42.50	21.25
H2O	188	0.188	167	167	0.50	21.21	11.23
Pd	979	0.361	983	983	2.94	124.87	62.43
Ar	751	0.291	767	767	2.29	97.39	48.65
Nanosílice	5.0%	0.050	16.75	16.75	0.05	2.13	1.07
% Aire	0.25%	0.003		0.02			
Incluido							

Fuente: Elaboración Propia

3.11.12. Mezcla patrón F'c = 175 kg/cm² + 7.0% de Nanosílice

Cálculo de la Cantidad de Agua

$$\frac{7 - 4}{5 - 7} = \frac{197 - 184}{184 - H_2O}$$

$$H_2O = 188 \text{ lts.}$$

Cálculo de la Cantidad de Cemento: Con la resistencia promedio requerida (f'cr) seleccionamos la relación a/c, el f'c de diseño es de 175 kg/cm² entonces el f'cr = 175 + 70 = 245 kg/cm².

F'cr	420	350	280	210	140
a/c	--	0.4	0.48	0.59	0.74

$$\frac{350 - 280}{280 - 349} = \frac{0.4 - 0.48}{0.48 - a/c}$$

$$a/c = 0.6$$

Calculó de la cantidad de cemento.

$$c = \frac{188}{0.6} = 334.67 \text{ kg/m}^3$$

$$Pd = 0.61 * 1598 = 979.39 \text{ kg/m}^3$$

$$Ar = 0.271 * 2.58 * 1000 = 699.29 \text{ kg/m}^3$$

Cálculo en volúmenes (m³):

$$C = \frac{335}{3.13 * 1000} = 0.107$$

$$H_2O = \frac{188}{1000} = 0.188$$

$$Pd = \frac{979}{2.71 * 1000} = 0.361$$

$$Ar = 1 - 0.107 - 0.188 - 0.361 - 0.0025 - 0.07 = 0.304$$

Material	Cemento	Agua	Piedra	Arena	Aire	Aditivo
Volumen	0.107	0.188	0.361	0.271	0.0025	0.07

Corrección de arena gruesa y grueso por humedad:

$$\text{Arena} = 699.29 * \left(1 + \frac{2.13}{1000}\right) = 714.19 \text{ kg}$$

$$\text{Piedra} = 979 * \left(1 + \frac{0.45}{1000}\right) = 983.26 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 188 - \left(783.14 * \left(\frac{2.13 - 1.40}{100}\right)\right) - \left(979.39 * \left(\frac{0.45 - 0.54}{100}\right)\right) - (0.0025 + 0.07) * 334.67 = 160.68$$

lts.

La tabla 53, muestra los resultados del diseño de mezcla con f'c = 175 kg/cm² + 7% de Nanosílice.

Tabla 53. *Diseño de mezcla para concreto f'c= 175 kg/cm² + 7% de Nanosílice.*

D. Seco	V=1.00m ³	CORRECCION POR HUMEDAD	P. UNITARIO	D.OBRA	P. UNITARIO	P. TANDA 1BIs	DISEÑO
C	335	0.107	335	335	1.00	42.50	21.25
H2O	188	0.188	161	161	0.48	20.41	11.23
Pd	979	0.361	983	983	2.94	124.87	62.43
Ar	699	0.271	714	714	2.13	90.70	45.35
Nanosílice	7.0%	0.070	23.45	23.45	0.07	2.98	1.49
% Aire	0.25%	0.003	0.02	0.02	0.02	0.020	
Incluido							

Fuente: Elaboración Propia

3.12 Ensayos al Concreto Autocompactante en Estado Fresco.

Para el mezclado se utilizó una mezcladora de 120 lts. de capacidad y con eficiencia al 40%, las tandas de ensayos elaborados fueron para 0.02471 m³, equivalente a 15 cilindros de 4" x 8" más las pruebas necesarias correspondientes al concreto autocompactante.

En la figura 29 se pesan los materiales antes de su incorporación para las mezclas de concreto autocompactante.



Figura 29. Materiales previamente pesados a utilizar en el mezclado.
Fuente: Elaboración Propia.

3.12.1. Slump.

La prueba de slump o asentamiento se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos por la norma N.T.P. 339.035.

El ensayo de slump para el cual se diseñaron las mezclas fue de 5", evidenciándose en la ejecución de cada proceso.

Los Resultados del ensayo slump, se muestran en la figura 30.



Figura 30. Ensayo de Slump a la Mezcla del Concreto.
Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de las pruebas de asentamiento realizados a cada relación de mezcla de concreto se muestran en las tablas 54,55 y 56.

Tabla 54. Resultados de Ensayo Slump para la Mezcla de Concreto de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
9:00:00 a.m.	Patrón de $F'c = 280$	5"	0	Igual
10:00:00 a.m.	$F'c = 280 + 1\%$	5 3/4"	15.00	Mayor al Patrón
11:00:00 a.m.	$F'c = 280 + 1.5\%$	6 1/2"	30.00	Mayor al Patrón
12:00:00 p.m.	$F'c = 280 + 2\%$	7 1/4"	45.00	Mayor al Patrón
01:00:00 p.m.	$F'c = 280 + 3\%$	4 1/4"	15.00	Menor al Patrón
02:00:00 p.m.	$F'c = 280 + 5\%$	3 3/4"	25.00	Menor al Patrón
03:00:00 p.m.	$F'c = 280 + 7\%$	3"	40.00	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55. Resultados de Ensayo Slump para Mezcla de Concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
09:00:00 a.m.	Patrón de $F'c = 210$	5 "	0	Igual
10:00:00 a.m.	$F'c = 210 + 1\%$	6 1/4"	25.00	Mayor al Patrón
11:00:00 a.m.	$F'c = 210 + 1.5\%$	7 1/2"	50.00	Mayor al Patrón
12:00:00 p.m.	$F'c = 210 + 2\%$	8 3/4"	75.00	Mayor al Patrón
01:00:00 p.m.	$F'c = 210 + 3\%$	4"	20.00	Menor al Patrón
02:00:00 p.m.	$F'c = 210 + 5\%$	3 1/2 "	30.00	Menor al Patrón
03:00:00 p.m.	$F'c = 210 + 7\%$	3 "	40.00	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 56. Resultados de Ensayo Slump para Mezcla de Concreto de $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
9:30:00 a.m.	Patrón de $F'c = 175$	5"	0	Igual
10:30:00 a.m.	$F'c = 175 + 1\%$	6 1/2"	30.00	Mayor al Patrón
11:30:00 a.m.	$F'c = 175 + 1.5\%$	7 3/4"	55.00	Mayor al Patrón
12:30:00 p.m.	$F'c = 175 + 2\%$	8 1/2"	70.00	Mayor al Patrón
1:30:00 p.m.	$F'c = 175 + 3\%$	4 1/2"	10.00	Menor al Patrón
2:30:00 p.m.	$F'c = 175 + 5\%$	3 3/4"	25.00	Menor al Patrón
3:30:00 p.m.	$F'c = 175 + 7\%$	3"	40.00	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia

3.12.2. Tiempo de Fraguado.

El ensayo de tiempo de fraguado se realizó según el procedimiento detallado en la norma N.T.P. 339.082.

Los Resultados del ensayo del tiempo de fraguado, se muestran en la figura 31.



Figura 31. Ensayo Tiempo de Fraguado para las Distintas Mezclas de Concreto.
Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de los ensayos se muestran en las tablas 57, 58 y 59.

Tabla 57. *Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.*

Diseño de Mezcla a/c = 0.4	TI	TFI	TFF
Patrón de $F'c = 280$	09:00:00 a.m.	12:10:00 p.m.	04:20:00 p.m.
$F'c = 280 + 1\%$	09:00:00 a.m.	12:25:00 p.m.	04:35:00 p.m.
$F'c = 280 + 1.5\%$	09:00:00 a.m.	12:45:00 p.m.	04:50:00 p.m.
$F'c = 280 + 2\%$	09:00:00 a.m.	01:00:00 p.m.	05:05:00 p.m.
$F'c = 280 + 3\%$	09:00:00 a.m.	11:30:00 a.m.	14:40:00 p.m.
$F'c = 280 + 5\%$	09:00:00 a.m.	11:00:00 a.m.	14:10:00 p.m.
$F'c = 280 + 7\%$	09:00:00 a.m.	10:30:00 a.m.	13:40:00 p.m.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58. *Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.*

Diseño de Mezcla a/c = 0.5	TI	TFI	TFF
Patrón de $F'c = 210$	09:00:00 a.m.	12:40:00 p.m.	04:40:00 p.m.
$F'c = 210 + 1\%$	09:00:00 a.m.	12:55:00 p.m.	04:55:00 p.m.
$F'c = 210 + 1.5\%$	09:00:00 a.m.	01:15:00 p.m.	05:10:00 p.m.
$F'c = 210 + 2\%$	09:00:00 a.m.	01:35:00 p.m.	05:30:00 p.m.
$F'c = 210 + 3\%$	09:00:00 a.m.	11:25:00 a.m.	14:35:00 p.m.
$F'c = 210 + 5\%$	09:00:00 a.m.	10:45:00 a.m.	13:30:00 p.m.
$F'c = 210 + 7\%$	09:00:00 a.m.	10:20:00 a.m.	12:40:00 p.m.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 59. *Resultado de Ensayo de Tiempo de Fraguado para Mezcla de Concreto de $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.*

Diseño de Mezcla a/c = 0.6	TI	TFI	TFF
Patrón de $F'c = 175$	09:00:00 a.m.	12:55:00 p.m.	04:45:00 p.m.
$F'c = 175 + 1\%$	09:00:00 a.m.	01:25:00 p.m.	05:00:00 p.m.
$F'c = 175 + 1.5\%$	09:00:00 a.m.	01:45:00 p.m.	05:15:00 p.m.
$F'c = 175 + 2\%$	09:00:00 a.m.	02:05:00 p.m.	05:35:00 p.m.
$F'c = 175 + 3\%$	09:00:00 a.m.	11:45:00 a.m.	14:55:00 p.m.
$F'c = 175 + 5\%$	09:00:00 a.m.	11:05:00 a.m.	13:50:00 p.m.
$F'c = 175 + 7\%$	09:00:00 a.m.	10:20:00 a.m.	12:40:00 p.m.

Fuente: Elaboración Propia

Dado que en estado fresco es cuando se distingue a un concreto convencional de un concreto autocompactante, se emplearon ciertos ensayos para determinar su propiedad de y características de auto compactación.

Entre los ensayos que frecuentemente se realizan son los siguientes:

La tabla 51, muestra la normativa que rige los ensayos para la caracterización del concreto autocompactante en estado fresco.

Tabla 51. *Normativa de los ensayos para la caracterización del concreto autocompactante en estado fresco.*

Ensayo	Normas
Escurrecimiento	N.T.P. 339 219:2008
Embudo en V	N.T.P. 339.220:2008
Caja en L	N.T.P. 339.220:2008

Fuente: Elaboración Propia.

3.12.3. Ensayo de Escurrecimiento

Este ensayo evalúa la capacidad de relleno del hormigón autocompactante en ausencia de obstáculos, la segregación y exudación.

El ensayo consiste en rellenar el cono de Abrams sin compactar ni picar, levantar el cono sobre una placa no absorbente húmeda y controlar la expansión diametral de la masa y el tiempo en que esta fluye.

Es el ensayo más realizado ya que por su practicidad y los pocos materiales necesarios se puede hacer en obra tanto en laboratorio.

Procedimiento:

- Se coloca el cono de Abrams sobre una placa la cual posee tres circunferencias de 300mm, 500 mm y de 700 mm, el cono se coloca sobre el diámetro menor.
- Inmediatamente se vacía la mezcla de concreto autocompactante y se levanta el cono de Abrams.
- Se toma el tiempo en que la mezcla tarda en llegar desde el diámetro de 300 mm a 500 mm (T_{50}).
- Luego se mide el diámetro final hasta donde la mezcla haya llegado.

En la figura 32, se muestra las dimensiones de la plancha utilizada para la evaluación del ensayo de escurrimiento.

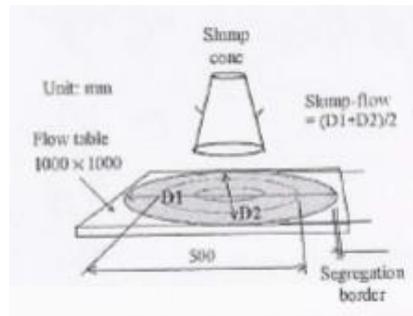


Figura 32. Cono de Abrams utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante.

Fuente: Ponencia en CAC, Masajito Ouchi. México 2003.

Los Resultados del ensayo de escurrimiento, se muestran en la figura 33 y las tablas 60, 61 y 62.



Figura 33. Ensayo de Escurrimiento del Concreto Autocompactante.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 60. Resultados de Ensayo de Esgurrimento del Concreto para un $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO HASTA T_{50}
(%)	Mm	Mm	Seg.
0%	300	600	7.94
1%	300	655	6.57
1.5%	300	737	5.11
2%	300	825	4.02
3%	300	550	13.34
5%	300	520	19.51
7%	300	505	25.43

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 61. Resultados de Ensayo de Esgurrimento del Concreto para un $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO HASTA T_{50}
(%)	Mm	Mm	Seg.
0%	300	655	7.74
1%	300	695	6.38
1.5%	300	760	5.16
2%	300	838	4.09
3%	300	600	13.45
5%	300	575	18.25
7%	300	525	26.62

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 62. Resultados de Ensayo de Esgurrimento del Concreto para un $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO HASTA T_{50}
(%)	Mm	Mm	Seg.
0%	300	708	7.56
1%	300	745	6.09
1.5%	300	806	5.05
2%	300	849	3.98
3%	300	600	13.82
5%	300	565	19.38
7%	300	505	25.42

Fuente: Elaboración Propia.

3.12.4. Ensayo del Embudo V.

El ensayo del embudo en V se realiza para determinar la viscosidad y la capacidad de llenado y flujo del concreto autocompactante.

a) Objetivo

Determinar la capacidad de relleno (fluidez) del concreto con un tamaño de agregado máximo de 20 mm.

b) Principio teórico

El ensayo se desarrolló en Japón y fue utilizado por Ozawa et al, el equipamiento consiste en un embudo en forma de V, (véase la Figura 27). Un tipo alternativo de embudo V, es el embudo O, con una sección circular, también se utiliza en Japón.

El embudo se llena con aproximadamente 12 litros de concreto y se mide el tiempo necesario para fluir a través del aparato. Después del proceso, el embudo puede volver a llenarse con concreto, que se deja reposar durante 5 minutos. Si el concreto muestra segregación, entonces el tiempo de flujo aumentará significativamente.

En la figura 34 se muestra las dimensiones del instrumento de embudo en V, para evaluar la consistencia del concreto autocompactante.

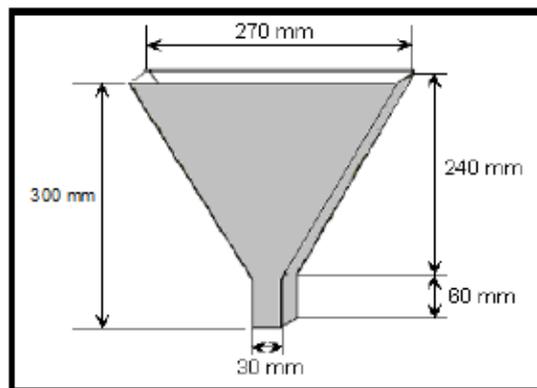


Figura 34. Embudo en V utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante. Fuente: Ponencia en CAC, Masajito Ouchi. México 2003.

c) Evaluación del ensayo

Aunque el ensayo se ha diseñado para medir la fluidez, el resultado se ve afectado por propiedades del concreto distintas a las del flujo. La forma de cono invertido consigue que cualquier tendencia del concreto a bloquearse se refleje en el resultado, cuando, por ejemplo, hay demasiada piedra chancada. Un tiempo de flujo elevado también puede asociarse con una escasa deformabilidad debido a una alta viscosidad de la pasta, y con una alta fricción entre las partículas.

Aunque el aparato es sencillo, el efecto del ángulo del embudo y el efecto del confinamiento sobre el flujo del concreto no están claros.

d) Equipo

- Embudo en V.
- Balde de 12 litros
- Espátula
- Palana
- Cronómetro

e) Procedimiento para el tiempo de flujo

- Se requieren unos 12 litros de concreto para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.
- Fije de manera firme el embudo V sobre el suelo.
- Humedezca las superficies interiores del embudo.
- Mantenga la trampilla abierta para permitir el drenaje del agua sobrante.
- Cierre la trampilla y coloque un balde debajo.
- Llene completamente el aparato con concreto sin compactarlo o presionarlo, sólo tiene que nivelar el concreto de la parte superior con la espátula.
- Abra la trampilla 10 segundos después del llenado y permita que el concreto salga por su propio peso.
- De manera simultánea, inicie el cronómetro y registre el tiempo.
- Active el cronómetro al abrir la trampilla y registre el tiempo hasta que se complete la descarga (el tiempo de flujo). Se considera que se ha completado cuando se ve la luz desde la parte superior a través del embudo.
- El ensayo completo debe realizarse en 5 minutos.

Los Resultados del ensayo de embudo en V, se muestra en la figura 35.



a) Ensayo Embudo en V.

Figura 35. Ensayo de Embudo en V para las Mezclas de Concreto Autocompactante.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados de los ensayos de embudo en V, se muestran en las tablas 63,64 y 65.

Tabla 63. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	19.43
1%	12	0	15.56
1.5%	12	0	11.23
2%	12	0	7.05
3%	12	0	28.58
5%	12	0	36.83
7%	12	0	43.82

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 64. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	18.86
1%	12	0	14.53
1.5%	12	0	10.25
2%	12	0	6.02
3%	12	0	27.52
5%	12	0	35.82
7%	12	0	42.73

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 65. Resultados de Ensayo Embudo en V para Concreto con $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	17.68
1%	12	0	13.47
1.5%	12	0	9.52
2%	12	0	5.97
3%	12	0	26.42
5%	12	0	35.83
7%	12	0	43.26

Fuente: Elaboración Propia.

3.12.5. Ensayo de Caja en L

Este ensayo se emplea para evaluar la capacidad del concreto para pasar entre las armaduras, la prueba permite apreciar el bloqueo y flujo del hormigón después de pasar entre las armaduras.

El equipo consta de una pared vertical, con capacidad de 12 litros, que conecta con un canal horizontal a través de una abertura que tiene con la misma dimensión de la sección transversal interna del canal. Después de la puerta se colocan armaduras de acero con una determinada distribución o separación. Los espacios y la cantidad de refuerzo se definen en función del tamaño máximo del árido y/o de las condiciones reales de aplicación del hormigón.

a) Objetivo

Evalúa la capacidad de fluir del concreto y también la medida en la que está sujeto a bloqueos por parte del armado.

Principio teórico

Este ensayo, basado en un diseño japonés para el concreto submarino, ha sido descrito por Petersson ET.

El aparato consiste en una caja de sección rectangular en forma de L, con una sección vertical y otra horizontal, separadas por una puerta móvil, delante de la cual se encajan longitudes verticales de barras de armado (Véase Figura 29). La sección vertical se llena de concreto, acto seguido se eleva la puerta para permitir que el concreto fluya hacia la sección horizontal, cuando el flujo se ha detenido, la altura del concreto al extremo de la sección horizontal se expresa como una proporción del restante en la sección vertical (H_2/H_1), que indica el alcance del concreto en reposo. Se trata de una medida de la

capacidad de paso, o del grado en que se restringe el paso del concreto a través de las barras.

La sección horizontal de la caja puede marcarse a 200 mm y 400 mm de la compuerta y pueden medirse los tiempos necesarios para alcanzar estos puntos. Se conocen como los tiempos T20 y T40 y constituyen una indicación de la capacidad de relleno.

Las secciones de las barras pueden ser de distintos diámetros y pueden espaciarse a diferentes intervalos, de conformidad con las consideraciones de armado normal, puede ser apropiado un tamaño tres veces superior al tamaño máximo de los agregados.

Las barras pueden ajustarse con cualquier espaciado para imponer una prueba más o menos exigente a la capacidad de paso del concreto.

La figura 36, muestra las dimensiones del instrumento de caja en L.

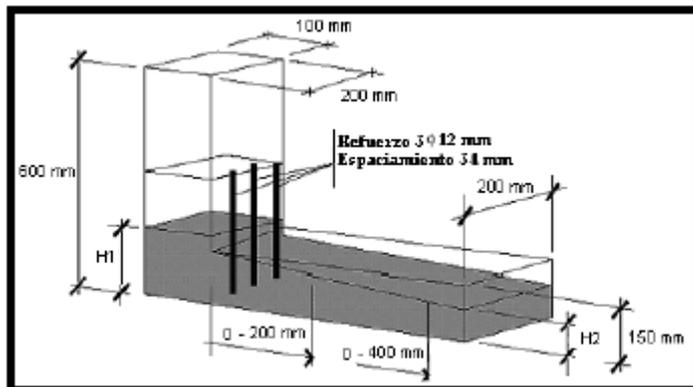


Figura 36. Caja en L utilizado para el ensayo de Consistencia del Concreto Autocompactante. Fuente. Brite Eu Ram Proposal No. BE96-3801 (SCC), Task 8.4 Quality control. (junio 2000).

b) Evaluación del Ensayo.

El uso de este ensayo es muy frecuente; es adecuado para el laboratorio y quizá también para el campo. Evalúa la capacidad de relleno y de paso del CAC y cualquier falta grave de estabilidad (segregación) puede detectarse posteriormente al ensayo cerrando e inspeccionando visualmente las fracciones del concreto en su sección horizontal. Lamentablemente, no existe un acuerdo sobre los materiales y dimensiones, ni sobre la disposición de las barras de armado, de modo que resulta difícil comparar los resultados del ensayo.

Si se miden los tiempos serán necesarios dos operarios y es inevitable un cierto grado de error del operario.

c) Equipo

- Caja en L de un material rígido no absorbente.
- Espátula

➤ Palana

➤ Cronómetro

d) Procedimiento

➤ Se precisan unos 14 litros de concreto para realizar el ensayo, tomados como muestra de manera normal.

➤ Coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme; asegúrese de que la compuerta deslizante puede moverse con libertad y luego ciérrela.

➤ Humedezca las superficies interiores del aparato y elimine el agua sobrante.

➤ Llene la sección vertical del aparato con la muestra de concreto.

➤ Déjelo reposar durante 1 minuto.

➤ Eleve la compuerta deslizante y deje que el concreto fluya hacia la sección horizontal.

➤ De manera simultánea, active el cronómetro y registre los tiempos que requiere el concreto para alcanzar las marcas de 200 mm y 400 mm.

➤ Cuando el concreto deje de fluir, se miden las distancias H1 y H2.

➤ Calcule $H2/H1$, la relación de bloqueo.

➤ Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos.

➤ Interpretación del resultado

➤ Si el concreto fluye tan libremente como el agua, en descanso estará horizontal, de modo que $H2/H1 = 1$.

En consecuencia, cuanto más cerca esté el valor de este ensayo a la unidad, mejor será el flujo del concreto. Los investigadores sugieren un valor mínimo aceptable de 0.8. Los períodos T20 y T40 pueden ofrecer una indicación sobre la capacidad de fluir, pero no hay un acuerdo general sobre los valores adecuados. Un bloqueo eficiente de la piedra chancada detrás de las barras de refuerzo puede detectarse visualmente. (Joel & Omar, 2014).

Los Resultados del ensayo de caja en L, se muestran en la figura 37.



Figura 37. Ensaio en caja en L para las distintas Mezclas de Concreto.
Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas 66,67 y 68, muestran los resultados para el ensaio de caja en L.

Tabla 66. Resultados de Ensaio Caja en L para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.34	10.66	16.10	192	144	0.75
1%	14	4.51	9.02	13.53	181	146	0.81
1.5%	14	3.83	7.64	11.47	170	147	0.86
2%	14	3.13	6.26	9.35	162	150	0.93
3%	14	7.45	14.35	21.84	198	138	0.70
5%	14	9.36	18.74	28.09	204	129	0.63
7%	14	12.65	24.97	38.28	215	125	0.58

Fuente: Elaboración Propia. Tabla 67. Resultados de Ensaio Caja en L para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.23	10.46	15.67	192	143	0.77
1%	14	4.48	8.94	13.45	184	147	0.80
1.5%	14	3.66	7.32	10.98	173	148	0.85
2%	14	2.96	5.92	8.86	160	150	0.94
3%	14	8.14	16.25	24.32	197	136	0.69
5%	14	10.02	20.05	30.15	206	126	0.61
7%	14	13.54	27.17	39.74	214	118	0.55

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 68. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.13	10.22	15.35	194	149	0.77
1%	14	4.83	9.64	14.46	186	150	0.81
1.5%	14	3.52	7.03	10.52	176	147	0.84
2%	14	2.82	5.65	8.48	161	148	0.92
3%	14	8.62	17.34	25.87	198	134	0.68
5%	14	11.54	23.06	34.62	208	122	0.59
7%	14	14.05	28.13	42.16	221	113	0.51

Fuente: Elaboración Propia.

3.13. Caracterización del Concreto Autocompactante en Estado Endurecido

3.13.1. Resistencia a la Compresión

La resistencia para concretos autocompactantes en estados endurecidos vienen condicionada por la relación agua/cemento, sabiendo que cuanto menor es la relación, mayor será la resistencia del concreto, es decir, cuanto mayor sea la cantidad de cemento, mayor será la resistencia a la compresión, obtenida. Pero se debe de tener en cuenta que existe limitaciones en la cantidad de cemento utilizado como en el mínimo valor de relación de agua/cemento. El concreto autocompactante se ha comprobado que su resistencia depende de otros factores adicionales como una micro estructura más densa, el tamaño de árido, el empleo de adiciones activas y la baja relación de agua/cemento gracias a los aditivos superplastificantes incorporados entre otros factores (Sharensahi, et al., 2000; Klug et al., 2003; Geordiadis et al., 2007; Agranati, 2008).

a) Objetivo.

- Comprobar si las previsiones que se hacen al diseñar una mezcla de concreto son adecuadas para cumplir con la resistencia de proyecto.
- Controlar la uniformidad de las resistencias y ajustarlas al nivel requerido durante la producción del concreto.
- Verificar la resistencia del concreto como se encuentra en la estructura.

b) Principio Teórico.

- Determina el $f'c$ para el tiempo de curado de probetas de 1, 3, 7, 14 y 28 días con una determinada mezcla de CAC.

c) Equipo.

- Máquina de ensayos de compresión (Prensa Hidráulica)
 - Probeta (espécimen cilíndrico de 4 "x 8")
- d) Procedimiento
- La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.
 - La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. En la mayoría de los casos los requerimientos de la resistencia a la compresión se alcanzan a los 28 días.
 - En este caso se realizarán 3 probetas cilíndricas que alcanzarán los 1,3,7,14 y 28 días de curado. La resistencia a la compresión del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal.
 - Los ensayos a compresión se realizarán en especímenes cilíndricos de 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm) curados bajo agua en los días ya mencionados.

3.13.1.1. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

El ensayo y los datos de resistencia a la compresión de probetas según edades de rotura se muestran en la figura 38.



Figura 38. Resistencia a la compresión de testigos de concreto.
Fuente: Elaboración Propia.

Las tablas 69, 70 y 71, muestran los resultados para ensayos de resistencias a la compresión.

Tabla 69. *Resultados Ensayo a la Compresión para relación a/c = 0.4 y F'c = 280 kg/cm².*

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
Resistencia de Estudio	F'c = 280 kg/cm ²									
Diseño	1	Día	3	Días	7	Días	14	Días	28	Días
	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado
Concreto Patrón	58	20.71	113	40.36	177	63.21	238	85.00	282	100.71
Concreto con 1 % de Nanosílice	196	70.00	272	97.14	374	133.57	458	163.57	505	180.36
Concreto con 1.5 % de Nanosílice	209	74.64	324	115.71	405	144.64	492	175.71	557	198.93
Concreto con 2 % de Nanosílice.	223	79.64	348	127.29	440	157.14	522	186.43	595	212.50
Concreto con 3% de Nanosílice.	156	55.71	232	82.86	334	119.29	408	145.71	450	160.71
Concreto con 5% de Nanosílice.	117	41.79	171	61.07	265	94.64	356	127.14	382	136.79
Concreto con 7% de Nanosílice.	81	28.93	138	49.29	213	76.07	286	102.14	325	116.07

Tabla 70. Resultados Ensayo a la Compresión para relación a/c = 0.5 y F'c = 210 kg/cm².

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
Resistencia de Estudio	F'c = 210 kg/cm ²									
	1	Día	3	Días	7	Días	14	Días	28	Días
Diseño	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado	Alcanzado
Concreto Patrón	48	15.27	94	34.18	138	48.00	193	91.91	210	100.00
Concreto con 1 % de Nanosílice	168	45.82	254	92.36	321	116.73	402	191.43	452	215.24
Concreto con 1.5 % de Nanosílice	174	63.27	295	107.27	375	136.36	458	218.10	498	237.14
Concreto con 2 % de Nanosílice	149	34.18	215	78.18	297	108.00	372	177.15	415	197.62
Concreto con 3 % de Nanosílice	122	58.10	190	90.48	268	127.62	336	160.00	386	183.81
Concreto con 5 % de Nanosílice	94	44.76	154	73.33	238	113.33	301	143.33	349	166.19
Concreto con 7 % de Nanosílice	65	30.95	127	60.48	187	89.05	256	121.91	286	136.19

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 71. Resultados Ensayo a la Compresión para relación a/c = 0.6 y F'c = 175 kg/cm².

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
Resistencia de Estudio	F'c = 175 kg/cm ²									
Diseño	1	Día	3	Días	7	Días	14	Días	28	Días
	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado
Concreto Patrón	37	8.73	74	26.91	110	40.00	161	58.55	175	100.00
Concreto con 1 % de Nanosílice	152	24.00	229	45.55	285	67.27	344	96.00	389	175.42
Concreto con 1.5 % de Nanosílice	139	27.27	213	52.73	268	77.09	319	108.00	358	190.86
Concreto con 2 % de Nanosílice	124	29.45	179	68.73	249	96.73	302	125.09	337	222.29
Concreto con 3 % de Nanosílice	107	61.14	143	81.71	225	128.57	283	161.71	306	174.86
Concreto con 5 % de Nanosílice	81	46.29	116	66.29	178	101.71	251	143.43	277	158.29
Concreto con 7 % de Nanosílice	57	32.57	92	52.57	144	82.29	214	122.29	246	140.57

Fuente: Elaboración Propia.

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se realizará el análisis de resultados de cada una de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecidos vistos en el capítulo V, se presenta un cuadro de resumen de los ensayos para cada F'c y se analizará cada propiedad.

4.1. Resultados de los Ensayos Para Concreto en Estado Fresco.

4.1.1. Resultados Para Concreto de $a/c = 0.4$ y $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.1.1. Slump.

En la tabla 72, se muestra los resultados para el ensayo de slump, para la relación 0.4.

Tabla 72. *Resultados del Ensayo Slump – $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.*

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
Patrón de $F'c = 280$	5"	0	Igual
$F'c = 280 + 1\%$	5 3/4"	15.00	Mayor al Patrón
$F'c = 280 + 1.5\%$	6 1/2"	30.00	Mayor al Patrón
$F'c = 280 + 2\%$	7 1/4"	45.00	Mayor al Patrón
$F'c = 280 + 3\%$	4 1/4"	15.00	Menor al Patrón
$F'c = 280 + 5\%$	3 3/4"	25.00	Menor al Patrón
$F'c = 280 + 7\%$	3"	40.00	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 39 se muestran los resultados para el ensayo de asentamiento para la relación $a/c = 0.4$.

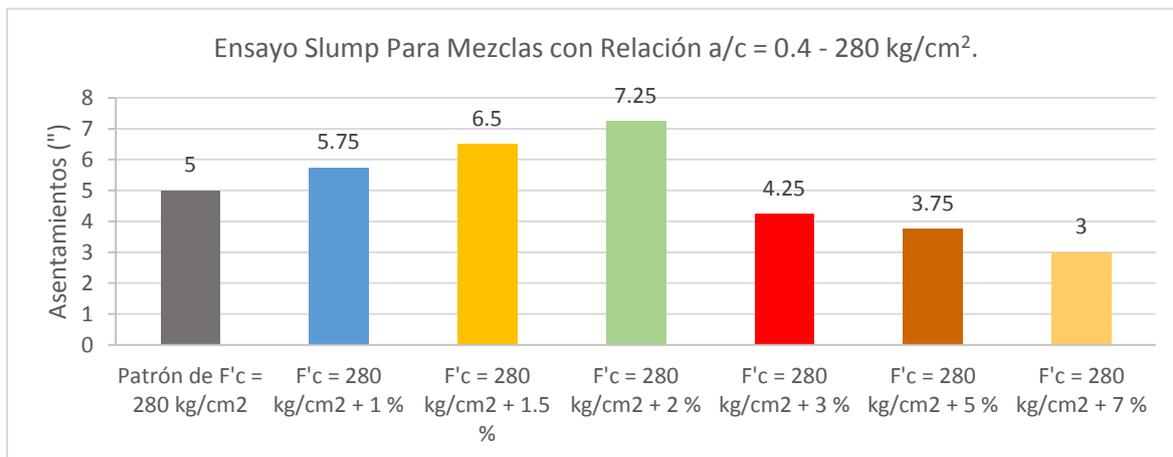


Figura 39. Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación $a/c = 0.4$ y $F'c = 280$ kg/cm².

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El ensayo slump demostró, que a medida que se le incrementa el porcentaje de aditivo hasta el 2%, las mezclas incrementan el asentamiento con respecto al concreto patrón; contrariamente ocurre cuando, se les añade mayor porcentaje de nanosílice, se reduce el asentamiento, esto es debido a que la mezcla pierde trabajabilidad y se endurece rápidamente.

4.1.1.2. Tiempo de Fraguado

En la tabla 73, se muestran los resultados para el ensayo de tiempo de fraguado, para la relación 0.4.

Tabla 73. Resultados del Tiempo de Fraguado para Concreto de $f'c = 280$ kg/cm².

DISEÑO DE MEZCLA	TFI (mín.)	% Variación Respecto al TFI del Concreto Patrón	OBS.	TFF (min.)	% de Variación Respecto al TFF del Concreto Patrón	Obs.
$F'c$ Patrón - 280 kg/cm ²	190	-	-	440	-	-
$F'c$ 280 kg/cm ² + 1%	205	7.89%	Mayor al Patrón	455	3.00%	Mayor al Patrón
$F'c$ 280 kg/cm ² + 1.5%	225	18.42%	Mayor al Patrón	470	6.00%	Mayor al Patrón
$F'c$ 280 kg/cm ² + 2%	240	26.32%	Mayor al Patrón	485	9.00%	Mayor al Patrón

F'c 280 kg/cm ² + 3%	150	21.05%	Menor al Patrón	340	77.27%	Menor al Patrón
F'c 280 kg/cm ² + 5%	120	36.84%	Menor al Patrón	310	63.63%	Menor al Patrón
F'c 280 kg/cm ² + 7%	90	50.00%	Menor al Patrón	280	54.55%	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 40 se muestran los resultados para el ensayo de tiempo de fraguado para la relación a/c = 0.4.

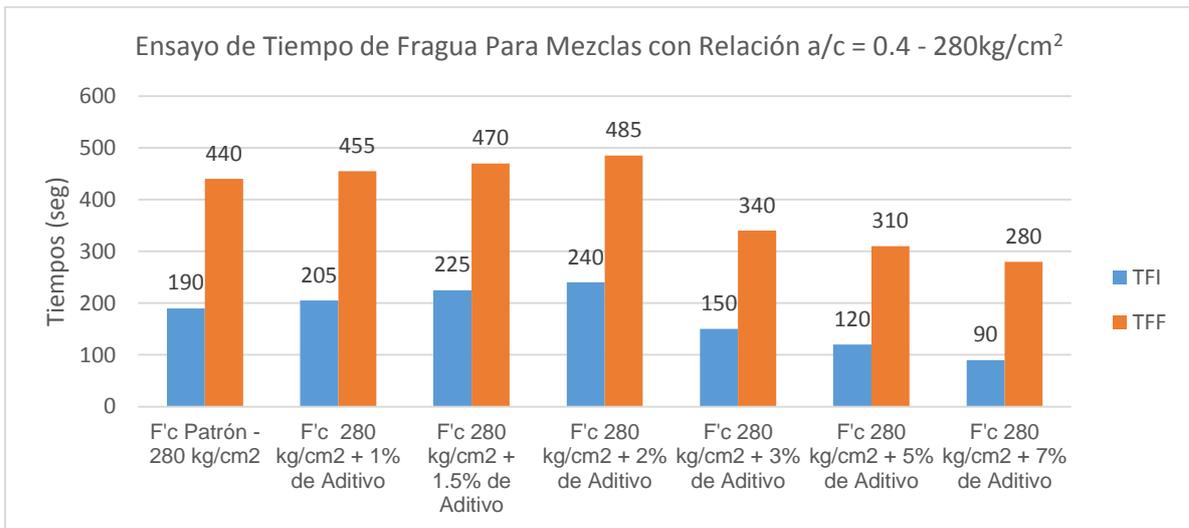


Figura 40. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla a/c = 0.4.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los tiempos de fraguado inicial y final de las mezclas de concreto con adición de nanosílice hasta el 2% de porcentaje adicionado, incrementan con respecto al concreto patrón, contrariamente cuando se le añaden mayores porcentajes, los tiempos de fraguado inicial y final disminuyen, evidenciándose una rápida exudación.

4.1.1.3. Caja en L.

En la tabla 74, se muestra los resultados para el ensayo de caja en L, para la relación 0.4.

Tabla 74. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0.0%	14	5.34	10.66	16.10	192	144	0.75
1.0%	14	4.51	9.02	13.53	181	146	0.81
1.5%	14	3.83	7.64	11.47	170	147	0.86
2.0%	14	3.13	6.26	9.35	162	150	0.93
3%	14	7.45	14.35	21.84	198	138	0.70
5%	14	9.36	18.74	28.09	204	129	0.63
7%	14	12.65	24.97	38.28	215	125	0.58

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 41 se muestran los resultados para el ensayo de caja en L para la relación $a/c = 0.4$.

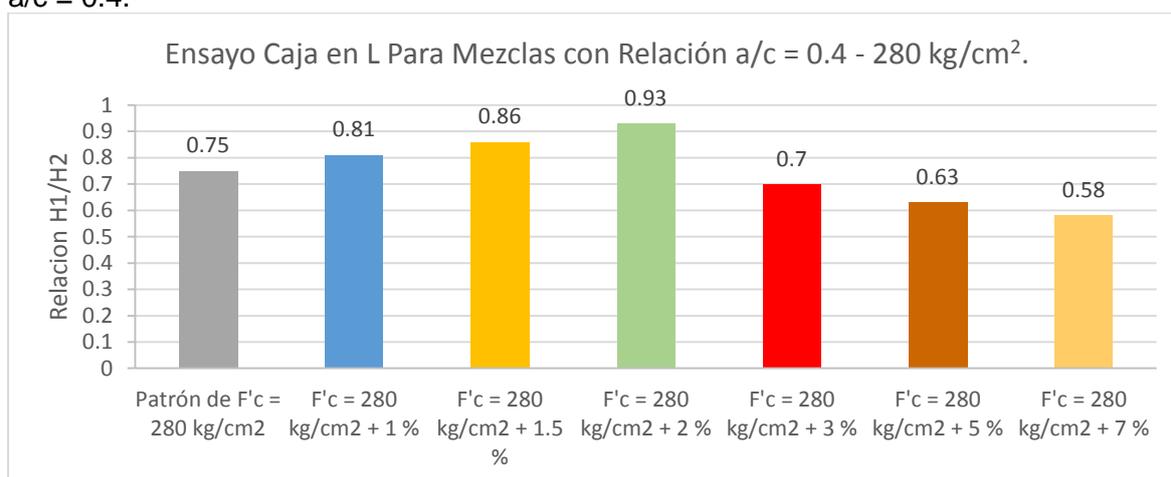


Figura 41. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Caja en L Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo en caja L, muestran que, las mezcla de concreto, se vuelven más fluidas con dosis de nanosílice de hasta 2%, incrementándose la relación H2/H1 con respecto al concreto patrón; pero a medida que se les incrementa la dosis en porcentajes de 3%, 5% y 7%, las mezclas empiezan a endurecerse rápidamente, perdiendo trabajabilidad en cada una de estas.

4.1.1.4. Embudo en V.

En la tabla 75, se muestra los resultados para el ensayo de embudo en V, para la relación 0.4.

Tabla 75. Resultados Para el Ensayo de Embudo en V para Concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	19.43
1%	12	0	15.56
1.5%	12	0	11.23
2%	12	0	7.05
3%	12	0	28.58
5%	12	0	36.83
7%	12	0	43.82

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 42 se muestran los resultados para el ensayo de embudo en V para la relación $a/c = 0.4$.

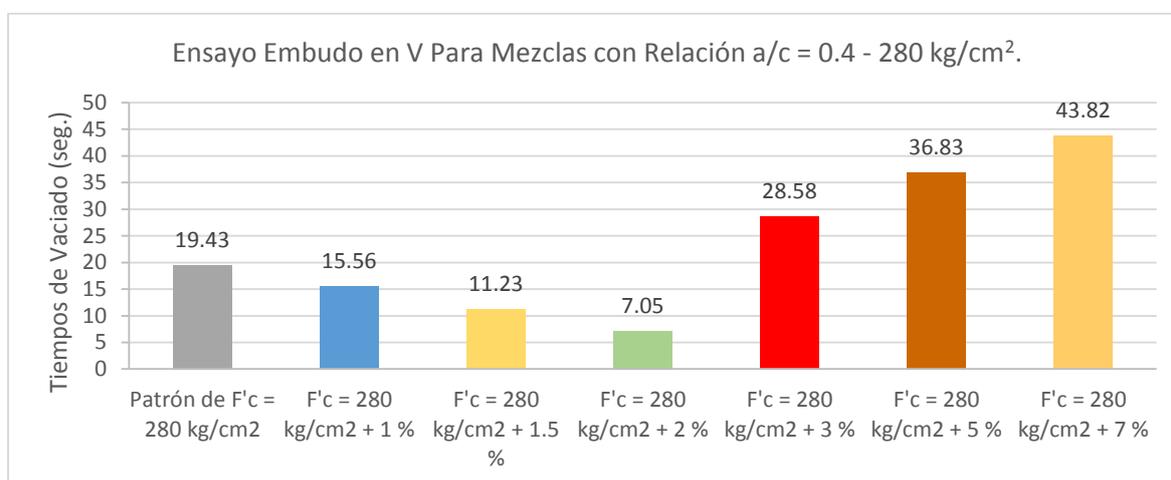


Figura 42. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Embudo en V para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Se observa que los tiempos para el ensayo de embudo en V, disminuyen a medida que se les añade porcentajes de aditivo de hasta 2%, pero a medida que se les incrementa mayor porcentaje las mezclas comienzan a endurecerse rápidamente incrementándose el tiempo de vaciado.

4.1.1.5. Ecurrimiento.

En la tabla 76, se muestra los resultados para el ensayo de escurrimiento, para la relación 0.4.

Tabla 76. Resultados Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO
			T_{50}
(%)	Mm	mm	Seg
0%	300	600	7.94
1%	300	655	6.57
1.5%	300	737	5.11
2%	300	825	4.02
3%	300	550	13.34
5%	300	520	19.51
7%	300	505	25.43

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 43 se muestran los resultados para el ensayo de escurrimiento para la relación $a/c = 0.4$.

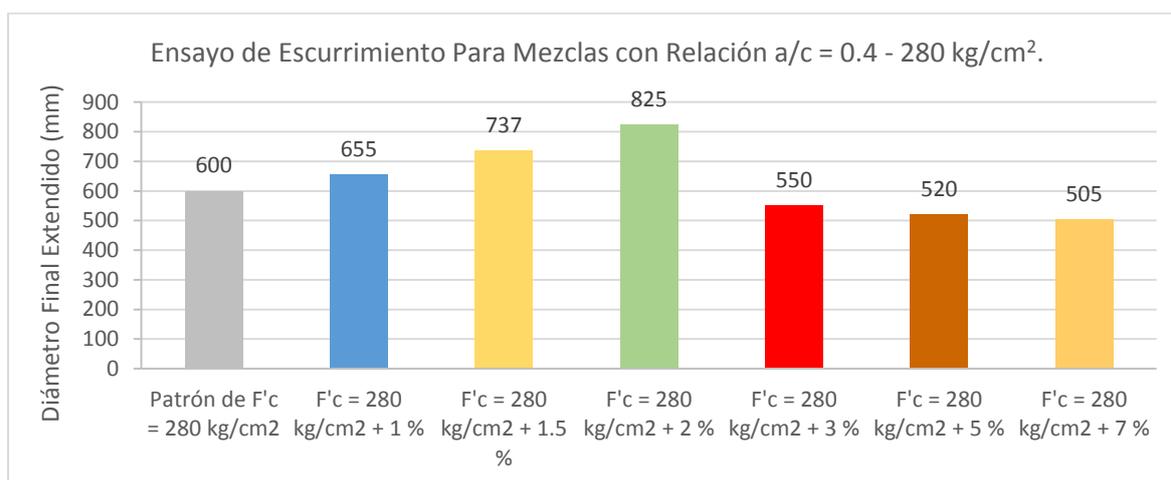


Figura 43. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Ecurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.4$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo de Ecurrimiento, evidencian, que para dosis adicionadas hasta el 2% de nanosílice, se incrementan los diámetros finales con respecto al concreto patrón; pero a medida que se incrementa los porcentajes de nanosílice, las mezclas se endurecen, reduciéndose el diámetro extendido e incrementándose el tiempo de llegada hasta el diámetro T_{50} .

4.1.2. Resultados Para Concreto de $a/c = 0.5$ y $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

4.1.2.1 Slump

En la tabla 77, se muestra los resultados para el ensayo de slump, para la relación 0.5.

Tabla 77. Resultados del Ensayo Slump – $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
Patrón de $F'c = 210$	5"	0	Igual
$F'c = 210 + 1\%$	6 1/4"	25	Mayor al Patrón
$F'c = 210 + 1.5\%$	7 1/2"	50	Mayor al Patrón
$F'c = 210 + 2\%$	8 3/4"	75	Mayor al Patrón
$F'c = 210 + 3\%$	4"	20	Menor al Patrón
$F'c = 210 + 5\%$	3 1/2"	30	Menor al Patrón
$F'c = 210 + 7\%$	3"	40	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 44 se muestran los resultados para el ensayo de slump para la relación $a/c = 0.5$.

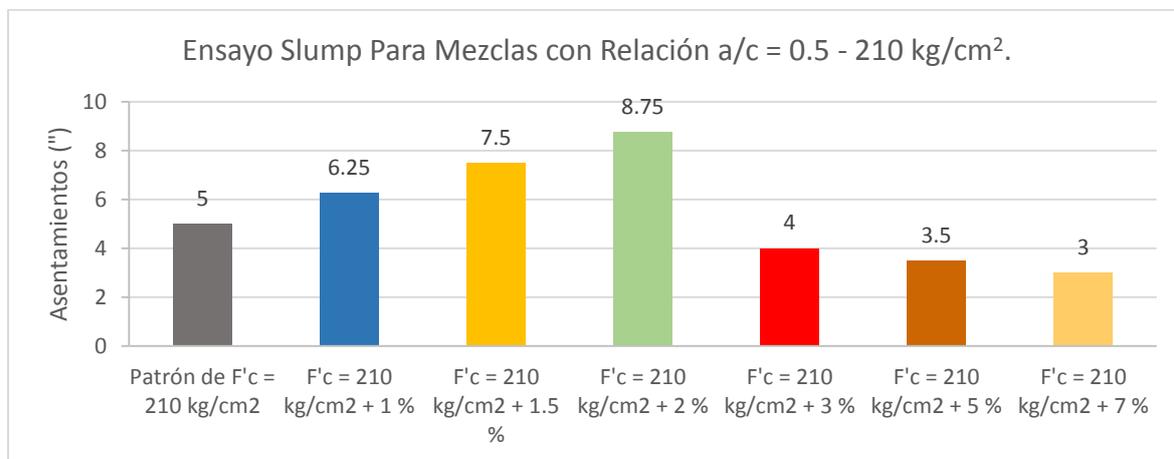


Figura44.Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación $a/c = 0.5$ y $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El ensayo slump demostró, que a medida que se le incrementa el porcentaje de aditivo hasta el 2%, las mezclas incrementan el asentamiento con respecto al concreto patrón; contrariamente ocurre cuando, se les añade mayor porcentaje de nanosílice, se reduce el asentamiento, esto es debido a que la mezcla pierde trabajabilidad y se endurece rápidamente.

4.1.2.2. Tiempo de Fraguado.

En la tabla 78, se muestra los resultados para el ensayo de tiempo de fraguado, para la relación 0.5.

Tabla 78. *Tiempo de Fraguado para Resistencia de 210 kg/cm².*

DISEÑO DE MEZCLA	TFI (mín.)	% Variación Respecto al TFI del Concreto Patrón	OBS.	TFF (min.)	% de Variación Respecto al TFF del Concreto Patrón	Obs.
F'c Patrón - 210 kg/cm ²	220	-	-	460	-	-
F'c 210 kg/cm ² + 1%	235	6.82%	Mayor al Patrón	475	3.26%	Menor al Patrón
F'c 210 kg/cm ² + 1.5%	255	15.91%	Mayor al Patrón	490	6.52%	Mayor al Patrón
F'c 210 kg/cm ² + 2%	275	25.00%	Mayor al Patrón	510	10.87%	Mayor al Patrón
F'c 210 kg/cm ² + 3%	145	34.09%	Menor al Patrón	335	27.17%	Menor al Patrón
F'c 210 kg/cm ² + 5%	115	47.27%	Menor al Patrón	270	41.30%	Menor al Patrón
F'c 210 kg/cm ² + 7%	80	63.64%	Menor al Patrón	220	52.17%	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 45 se muestran los resultados para el ensayo de tiempo de fraguado para la relación a/c = 0.5.

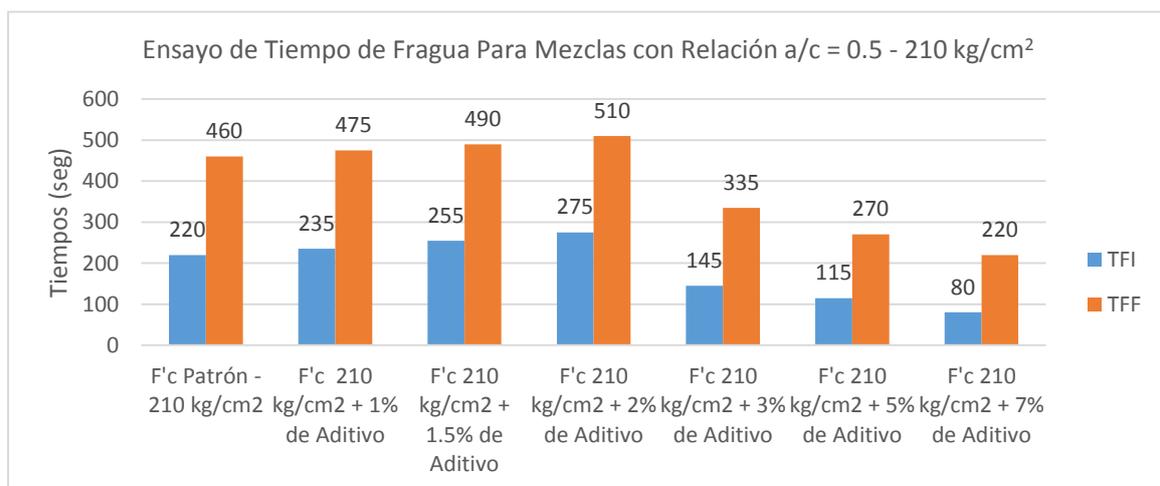


Figura 45. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla a/c = 0.5.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los tiempos de fraguado inicial y final de las mezclas de concreto con adición de nanosílice hasta el 2% de porcentaje adicionado, incrementan con respecto al concreto patrón, contrariamente cuando se le añaden mayores porcentajes, los tiempos de fraguado inicial y final disminuyen, evidenciándose una rápida exudación.

4.1.2.3. Caja en L.

En la tabla 79, se muestra los resultados para el ensayo de caja en L, para la relación 0.5.

Tabla 79. Resultados de Ensayo Caja en L para Concreto con $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN H2/H1
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.23	10.46	15.67	192	143	0.77
1%	14	4.48	8.94	13.45	184	147	0.80
1.5%	14	3.66	7.32	10.98	173	148	0.85
2%	14	2.96	5.92	8.86	160	150	0.94
3%	14	8.14	16.25	24.32	197	136	0.69
5%	14	10.02	20.05	30.15	206	126	0.61
7%	14	13.54	27.17	39.74	214	118	0.55

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 46, se muestran los resultados para el ensayo de caja en L para la relación $a/c = 0.5$.

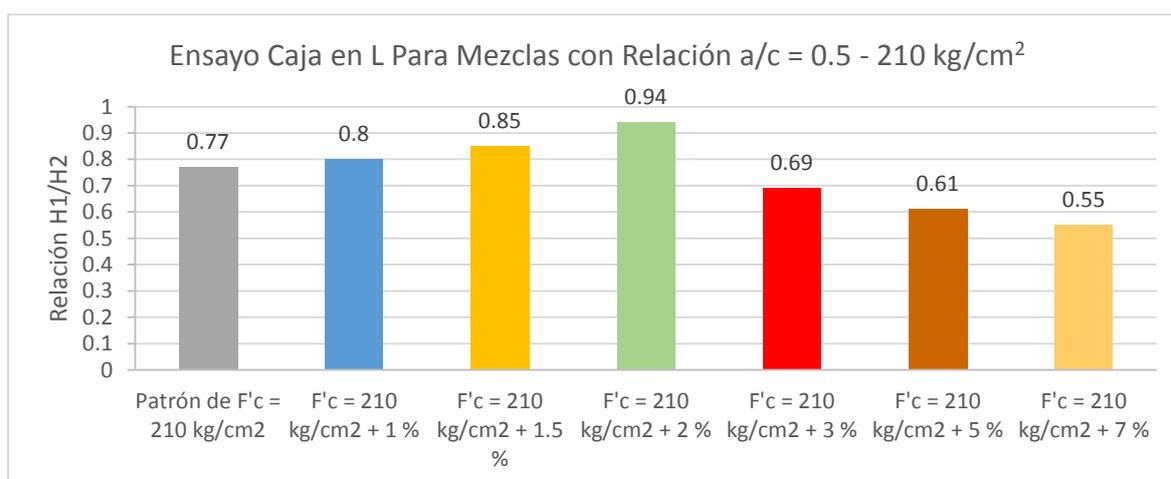


Figura 46. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Caja en L Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.5$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo en caja L, muestran que, las mezcla de concreto, se vuelven más fluidas con dosis de nanosílice de hasta 2%, incrementándose la relación H2/H1 con respecto al concreto patrón; pero a medida que se les incrementa la dosis en porcentajes de 3%, 5% y 7%, las mezclas empiezan a endurecerse rápidamente, perdiendo trabajabilidad en cada una de estas.

4.1.2.4. Embudo en V.

En la tabla 80, se muestran los resultados para el ensayo de embudo en V, para la relación 0.5.

Tabla 80. Resultado de Ensayo de Embudo en V Para Relación de Mezcla a/c = 0.5.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	18.86
1%	12	0	14.53
1.5%	12	0	10.25
2%	12	0	6.92
3%	12	0	27.52
5%	12	0	35.82
7%	12	0	42.73

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 47 se muestran los resultados para el ensayo en V, para la relación a/c = 0.5.

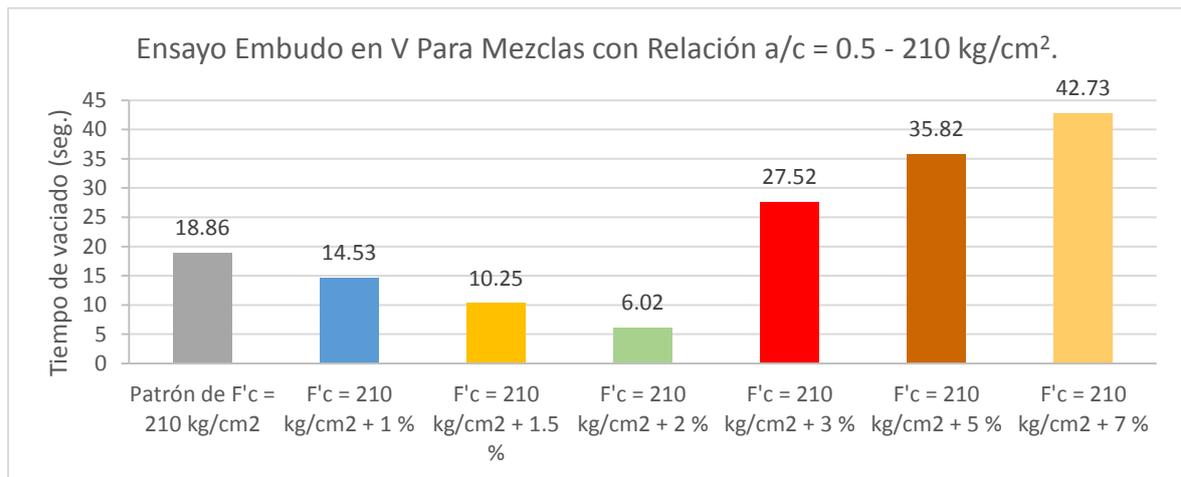


Figura 47. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Embudo en V Para el Diseño de Mezcla a/c = 0.5.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN: Se observa que los tiempos para el ensayo de embudo en V, disminuyen a medida que se les añade porcentajes de aditivo de hasta 2%, pero a medida que se les incrementa porcentajes mayores al 2%, las mezclas comienzan a endurecerse rápidamente, incrementándose el tiempo de vaciado.

4.1.2.5. Ecurrimiento.

En la tabla 81, se muestran los resultados para el ensayo de escurrimiento, para la relación 0.5.

Tabla 81. Resultado de Ensayo de Ecurrimiento Para Relación de Mezcla a/c = 0.5.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO
(%)	Mm	Mm	T_{50} Seg
0%	300	655	7.74
1%	300	695	6.68
1.5%	300	760	5.26
2%	300	838	4.09
3%	300	600	13.45
5%	300	575	18.25
7%	300	525	26.62

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 48 se muestran los resultados para el ensayo de escurrimiento, para la relación a/c = 0.5.

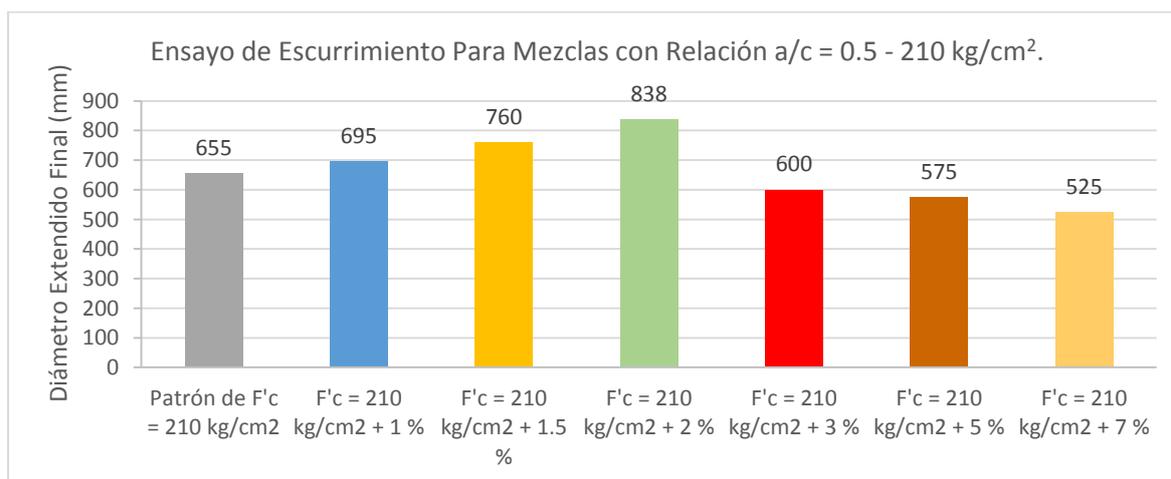


Figura 48. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Ecurrimiento Para el Diseño de Mezcla a/c = 0.5.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo de Ecurrimento, evidencian, que para dosis adicionadas hasta el 2% de nanosílice, se incrementan los diámetros finales con respecto al concreto patrón; pero a medida que se incrementa los porcentajes de nanosílice, las mezclas se endurecen, reduciéndose el diámetro extendido e incrementándose el tiempo de llegada hasta el diámetro T_{50} .

4.1.3. Resultados Para Concreto de a/c = 0.6 y F'c = 175 kg/cm².

4.1.3.1. Slump

En la tabla 82, se muestran los resultados para el ensayo slump, para la relación 0.6.

Tabla 82. Resultados del Ensayo Slump – F'c = 175 kg/cm².

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
Patrón de F'c = 175	5"	0	Igual
F'c = 175 + 1%	6 1/2"	30	Mayor al Patrón
F'c = 175 + 1.5%	7 3/4"	55	Mayor al Patrón
F'c = 175 + 2%	8 1/2"	70	Mayor al Patrón
F'c = 175 + 3%	4 1/2"	10	Menor al Patrón
F'c = 175 + 5%	3 3/4"	25	Menor al Patrón
F'c = 175 + 7%	3"	40	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 49 se muestran los resultados de asentamiento, para la relación a/c = 0.6.

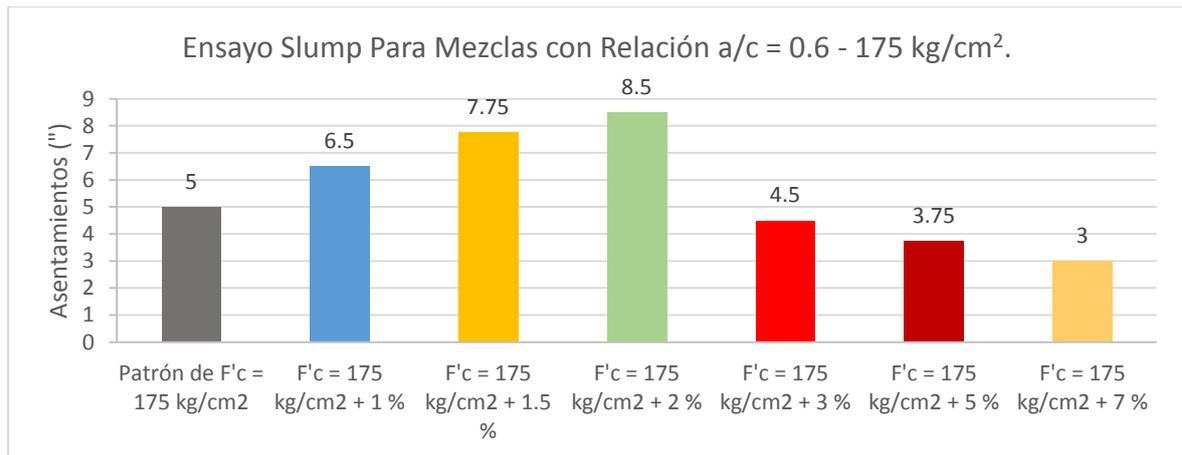


Figura 49. Comparación de asentamiento para mezcla de concreto de relación a/c = 0.6 y F'c = 175 kg/cm².

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El ensayo slump demostró, que a medida que se le incrementa el porcentaje de aditivo hasta el 2%, las mezclas incrementan el asentamiento con respecto al concreto patrón; contrariamente ocurre cuando, se les añade mayor porcentaje de nanosilice, se reduce el asentamiento, esto es debido a que la mezcla pierde trabajabilidad y se endurece rápidamente.

4.1.3.2. Tiempo de Fraguado

En la tabla 83, se muestran los resultados para el tiempo de fraguado, para la relación 0.6.

Tabla 83. *Tiempo de Fraguado para Resistencia de 175 kg/cm².*

DISEÑO DE MEZCLA	TFI (mín.)	% Variación Respecto al TFI del Concreto Patrón	OBS.	TFF (mín.)	% de Variación Respecto al TFF del Concreto Patrón	Obs.
F'c Patrón - 175 kg/cm ²	235	-	-	465	-	-
F'c 175 kg/cm ² + 1%	265	12.77%	Mayor al Patrón	480	3.22%	Mayor al Patrón
F'c 175 kg/cm ² + 1.5%	285	21.28%	Mayor al Patrón	495	6.45%	Mayor al Patrón
F'c 175 kg/cm ² + 2%	305	29.79%	Mayor al Patrón	515	10.0%	Mayor al Patrón
F'c 175 kg/cm ² + 3%	165	29.79%	Menor al Patrón	355	23.65%	Menor al Patrón
F'c 175 kg/cm ² + 5%	125	46.81%	Menor al Patrón	290	37.63%	Menor al Patrón
F'c 175 kg/cm ² + 7%	80	65.96%	Menor al Patrón	220	52.68%	Menor al Patrón

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 50 se muestran los resultados para el ensayo de tiempo de fraguado, para la relación a/c = 0.6.

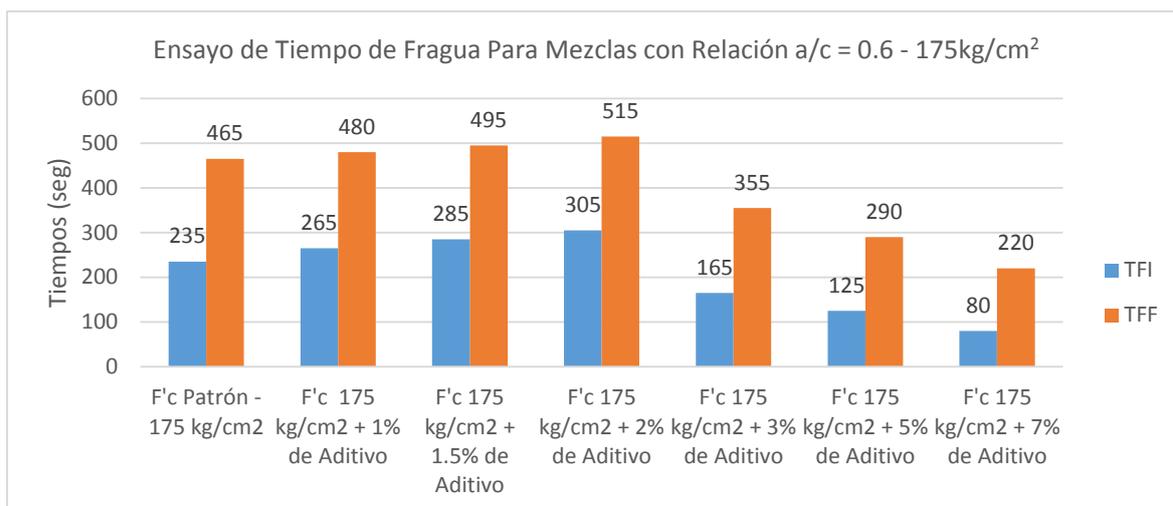


Figura 50. Comparación de los Tiempos de fraguados Obtenidos para el Diseño de Mezcla a/c = 0.6.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los tiempos de fraguado inicial y final de las mezclas de concreto con adición de nanosílice hasta el 2% de porcentaje adicionado, incrementan con respecto al concreto patrón, contrariamente cuando se le añaden mayores porcentajes, los tiempos de fraguado inicial y final disminuyen, evidenciándose una rápida exudación.

4.1.3.3. Caja en L.

En la tabla 84, se muestran los resultados para la caja en L, para la relación 0.6.

Tabla 84. *Tiempo de Fraguado para Resistencia de 175 kg/cm².*

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6							
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACIÓN
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.13	10.22	15.35	194	149	0.77
1%	14	4.83	9.64	14.46	186	150	0.81
1.5%	14	3.52	7.03	10.52	176	147	0.84
2%	14	2.82	5.65	8.42	161	148	0.92
3%	14	8.62	17.34	25.87	198	134	0.68
5%	14	11.54	23.06	34.62	208	122	0.59
7%	14	14.05	28.13	42.16	221	113	0.51

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 51 se muestran los resultados para el ensayo de caja en L, para la relación $a/c = 0.6$.

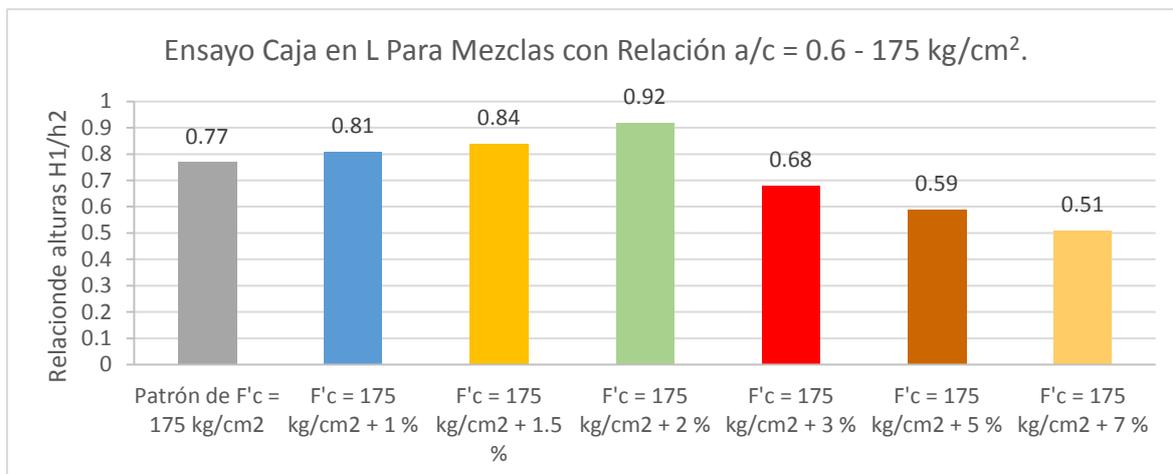


Figura 51. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Ecurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.6$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo en caja L, muestran que, las mezcla de concreto, se vuelven más fluidas con dosis de nanosílice de hasta 2%, incrementándose la relación H2/H1 con respecto al concreto patrón; pero a medida que se les incrementa la dosis en porcentajes de 3%, 5% y 7%, las mezclas empiezan a endurecerse rápidamente, perdiendo trabajabilidad en cada una de estas.

4.1.3.4. Embudo en V.

En la tabla 85, se muestra los resultados para el ensayo en V, para la relación 0.6.

Tabla 85. Resultados Obtenidos Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg.
0%	12	0	17.68
1%	12	0	13.47
1.5%	12	0	9.52
2%	12	0	5.97
3%	12	0	26.42
5%	12	0	35.83
7%	12	0	43.26

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 52 se muestra los resultados para el ensayo en V, para la relación a/c = 0.6.

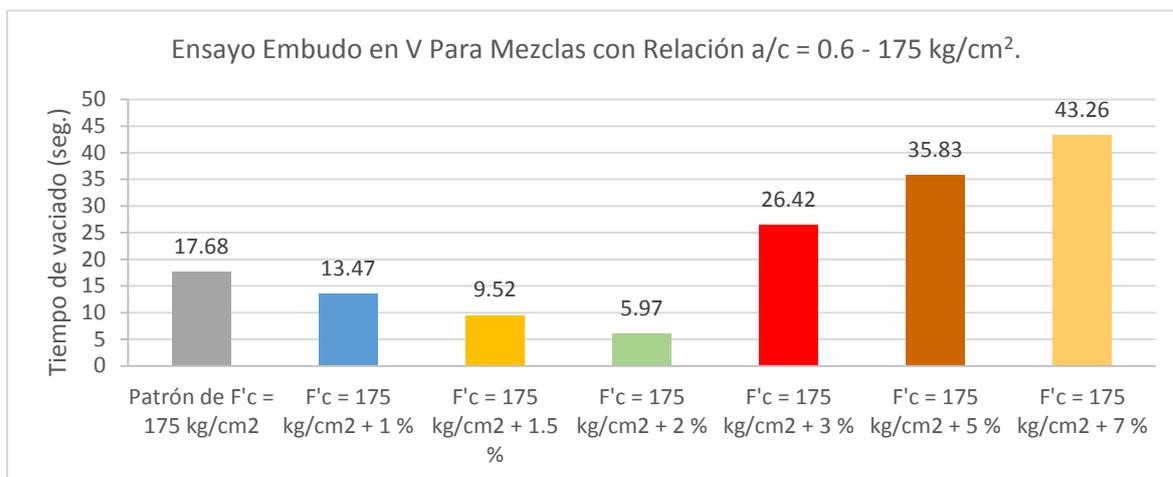


Figura 52. Comparación de los Resultados de Ensayo de Embudo en V Para Mezcla de Concreto Autocompactante de Relación a/c = 0.6.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Se observa que los tiempos para el ensayo de embudo en V, disminuyen a medida que se les añade porcentajes de aditivo de hasta 2%, pero a medida que se les incrementa mayor porcentaje las mezclas comienzan a endurecerse rápidamente incrementándose el tiempo de vaciado.

4.1.3.5. Ecurrimiento.

En la tabla 86, se muestra los resultados para el ensayo de escurrimiento para la relación 0.6.

Tabla 86. Resultados Para el Ensayo de Ecurrimiento para Concreto de f'c= 175 kg/cm².

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO (%)	DIAMETRO INICIAL Mm	DIAMETRO FINAL Mm	TIEMPO
			T ₅₀ Seg
0%	300	708	7.56
1%	300	745	6.09
1.5%	300	806	5.05
2%	300	849	3.98
3%	300	600	13.82
5%	300	565	19.38
7%	300	505	25.42

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 53 se muestran los resultados para el ensayo de escurrimiento, para la relación $a/c = 0.5$.

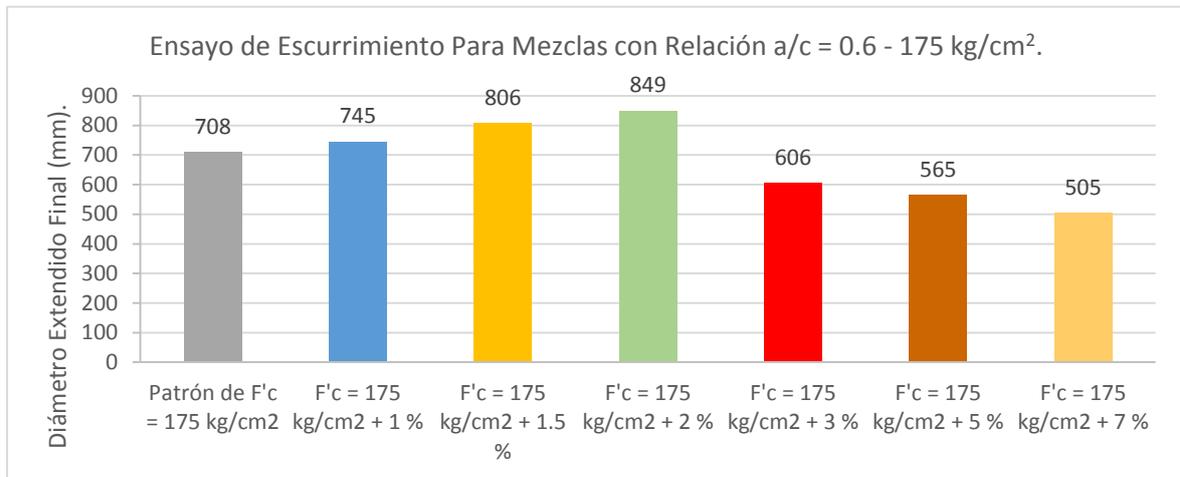


Figura 53. Comparación de los Resultados Obtenidos del Ensayo de Escurrimiento Para el Diseño de Mezcla $a/c = 0.6$.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

Los resultados para el ensayo de Escurrimiento, evidencian, que para dosis adicionales hasta el 2% de nanosílice, se incrementan los diámetros finales con respecto al concreto patrón; pero a medida que se incrementa los porcentajes de nanosílice, las mezclas se endurecen, reduciéndose el diámetro extendido e incrementándose el tiempo de llegada hasta el diámetro T_{50} .

4.2. Resistencia a la Compresión

4.2.1. Relación de $a/c = 0.4$ y Resistencia $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

En la tabla 87, se muestran los resultados de la prueba de resistencia para la relación 0.6.

Tabla 87. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.4$ y $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO										
F'c = 280 kg/cm ²										
Resistencia de Estudio										
Diseño	1	3		Días	7	Días	14	Días	28	Días
	Día									
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
	Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado	
Concreto Patrón	58	20.71	113	40.36	177	63.21	238	85.00	282	100.71
Concreto con 1 % de Nanosilíce	196	70.00	272	97.14	374	133.57	458	163.57	505	180.36
Concreto con 1.5 % de Nanosilíce	209	74.64	324	115.71	405	144.64	492	175.71	557	198.93
Concreto con 2 % de Nanosilíce	223	79.64	348	127.29	440	157.14	522	186.43	595	212.50
Concreto con 3 % de Nanosilíce	156	55.71	232	82.86	334	119.29	408	145.71	450	160.71
Concreto con 5 % de Nanosilíce	117	41.79	171	61.07	265	94.64	356	127.14	382	136.79
Concreto con 7 % de Nanosilíce	81	28.93	138	49.29	213	76.07	286	102.14	325	116.07

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 54 se muestran los resultados para el ensayo de resistencia, para la relación $a/c = 0.4$.

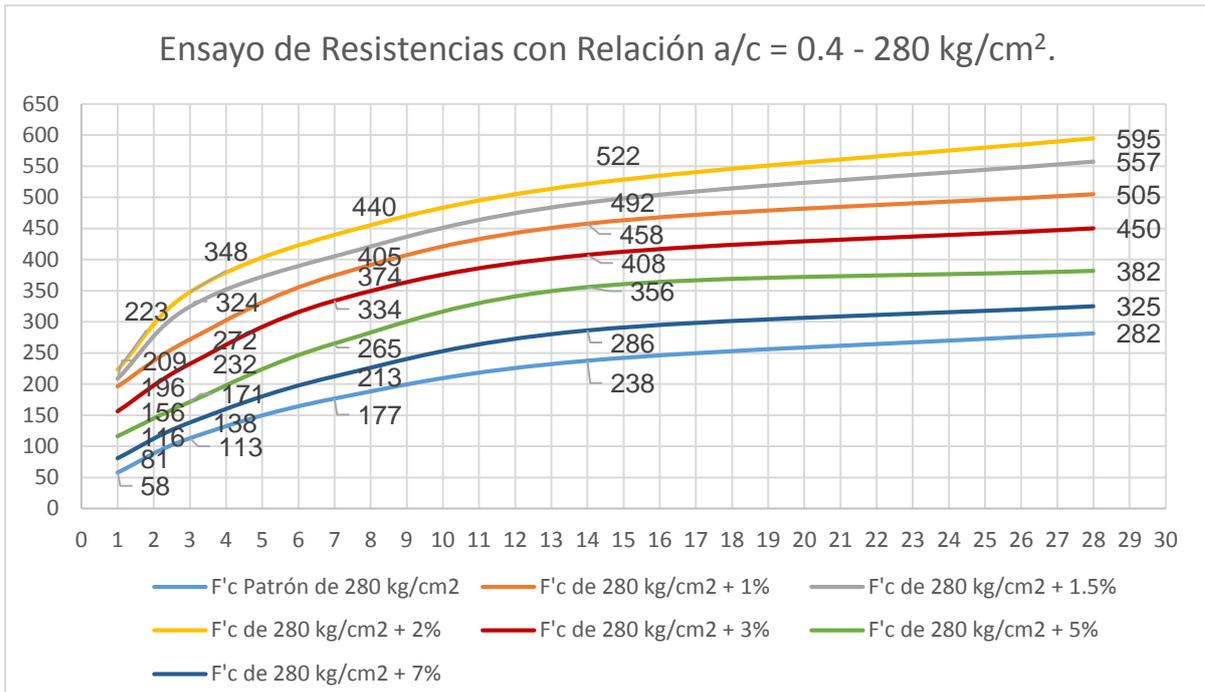


Figura 54. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para a/c = 0.4 y f'c = 280 kg/cm², según el número de días.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El análisis de resistencia a la compresión para distintos días, muestra que para un f'c= 280 kg/cm², la adición de partículas de nanosílice en porcentaje del 2%, demostraron mayores incrementos en las resistencias, con un resultado de f'c = 595 kg/cm² a los 28 días, caso contrario sucedió cuando se incrementaron porcentajes del 3%, 5% y 7%, las resistencias comenzaron a descender por debajo del 1%, no obstante los resultados obtenidos fueron mayores a los resultados del concreto patrón.

4.2.2. Relación de a/c = 0.5 y Resistencia F'c = 210 kg/cm².

En la tabla 88, se muestra los resultados de la prueba de resistencia para la relación 0.5.

Tabla 88. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para a/c = 0.5 y f'c = 210 kg/cm².

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia de Estudio	F'c = 210 kg/cm ²									
	Diseño	1	Día	3	Días	7	Días	14	Días	28
	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
	Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado		Alcanzado	
Concreto Patrón	48	15.27	94	34.18	138	48.00	193	91.91	210	100.00
Concreto con 1 % de Nanosílice	168	45.82	254	92.36	321	116.73	402	191.43	452	215.24
Concreto con 1.5 % de Nanosílice	174	63.27	295	107.27	375	136.36	458	218.10	498	237.14
Concreto con 2 % de Nanosílice	149	34.18	215	78.18	297	108.00	372	177.15	415	197.62
Concreto con 3 % de Nanosílice	122	58.10	190	90.48	268	127.62	336	160.00	386	183.81
Concreto con 5 % de Nanosílice	94	44.76	154	73.33	238	113.33	301	143.33	349	166.19
Concreto con 7 % de Nanosílice	65	30.95	127	60.48	187	89.05	256	121.91	285	135.71

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 55 se muestran los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión, para la relación a/c = 0.5.

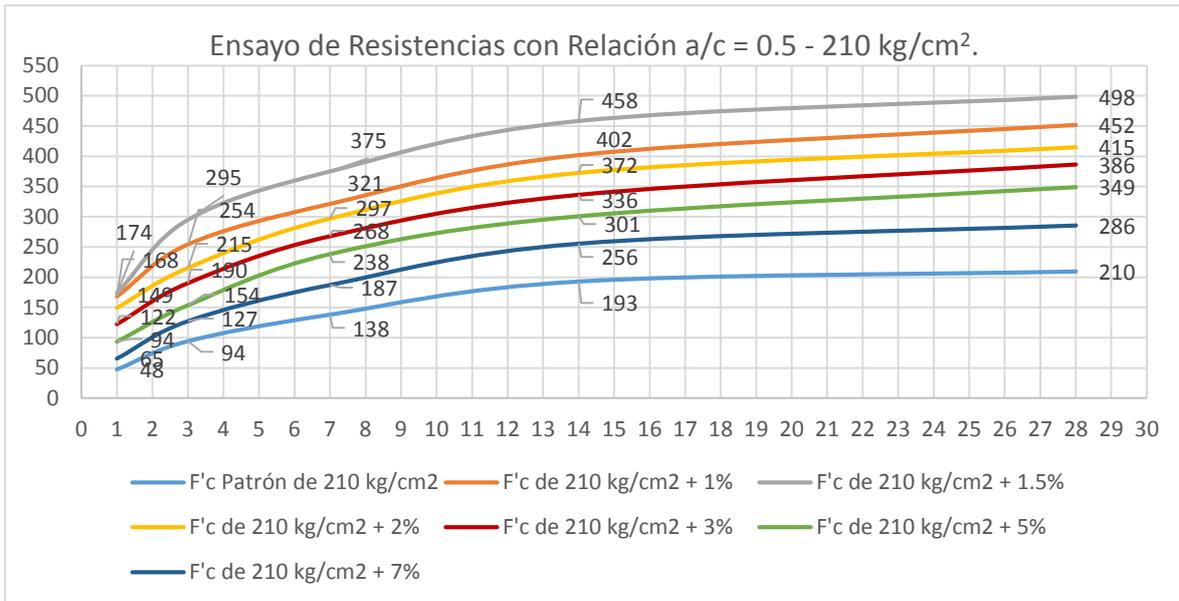


Figura 55. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para a/c = 0.5 y f'c = 210 kg/cm², según el número de días.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El análisis de resistencia a la compresión para distintos días, muestra que para un f'c= 210 kg/cm², la adición de partículas de nanosílice en porcentaje del 1.5%, demostraron mayores incrementos en las resistencias, con un resultado de f'c = 498 kg/cm² a los 28 días, caso contrario sucedió cuando se incrementaron porcentajes del 3%, 5% y 7%, las resistencias comenzaron a descender por debajo del 1%, no obstante los resultados obtenidos fueron mayores a los resultados del concreto patrón.

4.2.3. Relación de a/c = 0.6 y Resistencia F'c = 175 kg/cm².

En la tabla 89, se muestran los resultados de la prueba de resistencia para la relación 0.6.

Tabla 89. Resultado por Número de Días Ensayo a la Compresión Para $a/c = 0.6$ y $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

Resistencia de		F'c = 175 kg/cm ²								
Estudio	1		3		7		14		28	
Diseño	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado	kg/cm ²	% Alcanzado
Concreto Patrón	37	8.73	74	26.91	110	40.00	161	58.55	175	100.00
Concreto con 1 % de Nanosílice	152	24.00	229	45.55	285	67.27	344	96.00	389	175.42
Concreto con 1.5 % de Nanosílice	139	27.27	213	52.73	268	77.09	319	108.00	358	190.86
Concreto con 2 % de Nanosílice	124	29.45	179	68.73	249	96.73	302	125.09	337	222.29
Concreto con 3% de Nanosílice.	107	61.14	143	81.71	225	128.57	283	161.71	306	174.86
Concreto con 5% de Nanosílice.	81	46.29	116	66.29	178	101.71	251	143.43	277	158.29
Concreto con 7% de Nanosílice.	57	32.57	92	52.57	144	82.29	214	122.29	246	140.57

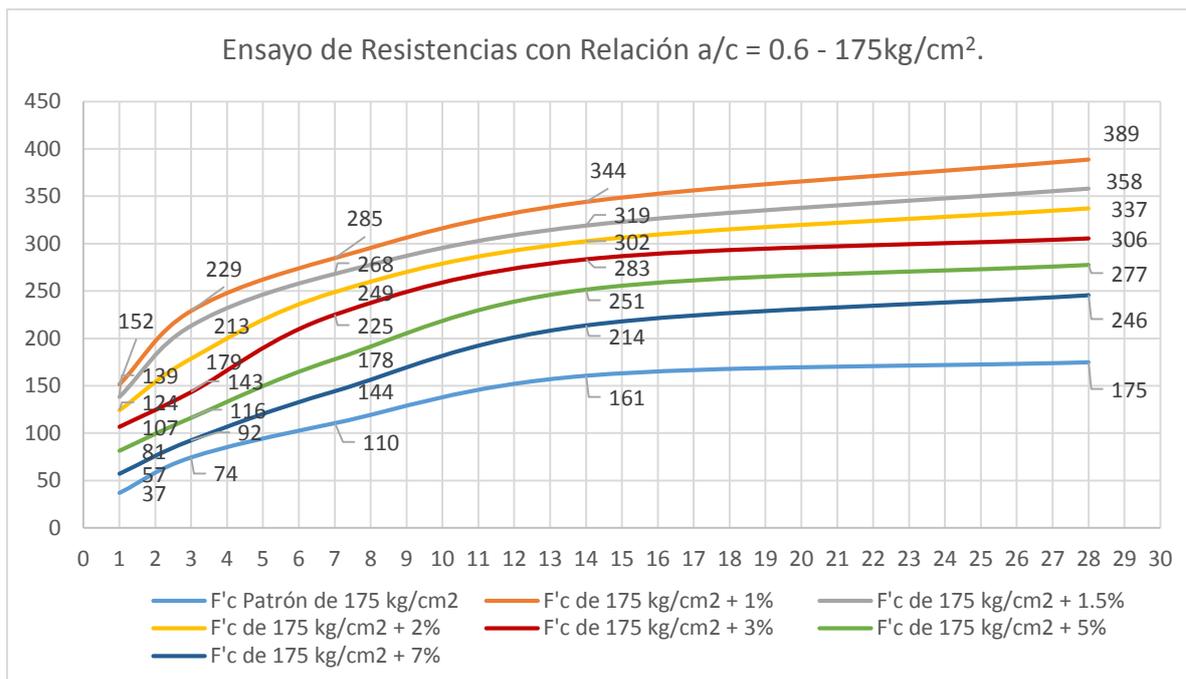


Figura 56. Comparación de Resultados de Ensayo a la Compresión Para a/c = 0.6 y f'c = 175 kg/cm², según el número de días.

Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIÓN:

El análisis de resistencia a la compresión para distintos días, muestra que para un f'c = 175 kg/cm², la adición de partículas de nanosílice en porcentaje del 1% demostraron mayores incrementos en las resistencias, con un resultado de f'c = 389 kg/cm², a los 28 días, lo contrario ocurrió cuando se le añadió porcentajes de 3%, 5% y 7%, las resistencias comenzaron a defender por debajo del 1%, no obstante estas se mantuvieron por encima de las resistencias obtenidas del concreto patrón.

4.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Utilizaremos el programa SPSS para validar las hipótesis y determinar la influencia entre la variable independiente que son las partículas de nanosílice frente a la variable la dependiente que son: consistencia y resistencia a la compresión, para la validación de hipótesis se tomarán los resultados más altos obtenidos a fin de asegurar la dosis adecuada para cada resistencia.

4.3.1. Consistencia del Concreto Autocompactante.

Para la verificación de la hipótesis se hará uso de la prueba de T de Student.

4.3.1.1. Para $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y Relación $a/c = 0.4$

4.3.1.1.1. Ensayo de Slump.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 5''$$

$$H_i: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 5''$$

En la tabla 90, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de slump, para la relación 0.4.

Tabla 90. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.*

	Valor de prueba = 5''					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Slump	2,324	3	,103	,750000	-,27713	1,77713

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.4, a las cuales se les añade dosis altas de aditivo, presentan mayores asentamientos con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.1.2. Ensayo de Caja en L.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0.75$$

$$H_i: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0.75$$

En la tabla 91, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de caja en L, para la relación 0.6.

Tabla 91. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.*

	Valor de prueba = 0.75					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Caja en L	2,502	3	,088	,065000	-,01768	,14768

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de

relación agua/cemento = 0.4, a las cuales se les añade dosis altas de aditivo, presentan mejor flujo con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.1.3. Ensayo Embudo en V.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 19.43 \text{ seg.}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 19.43 \text{ seg.}$$

En la tabla 92, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo en v, para la relación 0.4.

Tabla 92. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.

	Valor de prueba = 19.43				95% de intervalo de confianza	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Embudo en V	-2,516	3	,087	-,487500	-1,10424	,12924

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.4, a las cuales se les añade dosis alta de aditivo, presentan mejores tiempos de flujo y deformabilidad con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.1.4. Ensayo de Ecurrimiento.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 600 \text{ mm}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 600 \text{ mm}$$

En la tabla 93, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de escurrimiento, para la relación 0.4.

Tabla 93. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.

	Valor de prueba = 600 mm				95% de intervalo de confianza	
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Ecurrimiento	-2,428	3	,094	-,55000	-1,2709	,1709

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.5, a las cuales se les añade dosis altas de aditivo, presentan mejor capacidad de relleno con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.2. Para F'c = 210 kg/cm² y Relación a/c = 0.5

4.3.1.2.1. Ensayo de Slump.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 5''$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 5''$$

En la tabla 94, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de slump, para la relación 0.5.

Tabla 94. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.*

	Valor de prueba = 5''					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Slump	2,719	3	,073	,656250	-,11195	1,42445

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.5, a las cuales se les añade dosis intermedia de aditivo, presentan mayores asentamientos con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.2.2. Ensayo de Caja en L.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0.77$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0.77$$

En la tabla 95, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de caja en L, para la relación 0.5.

Tabla 95. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.

	Valor de prueba = 0.77					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Caja en L	2,458	3	,091	,052500	-,01548	,12048

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.5, a las cuales se les añade dosis intermedia de aditivo, presentan mejor flujo con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.2.3. Ensayo Embudo en V.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 18.86 \text{ seg.}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 18.86 \text{ seg.}$$

En la tabla 96, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de embudo en v, para la relación 0.5.

Tabla 96. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.

	Valor de prueba = 18.86 seg.					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Embudo en V	-2,348	3	,101	-,470000	-1,10715	,16715

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.5, a las cuales se les añade dosis intermedia de aditivo, presentan mejores tiempos de flujo y deformabilidad con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.2.4. Ensayo de Ecurrimiento.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 655 \text{ mm}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 655 \text{ mm}$$

En la tabla 97, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de escurrimiento, para la relación 0.5.

Tabla 97. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.

	Valor de prueba = 655					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Ecurrimiento	-2,428	3	,094	-,55000	-1,2709	,1709

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.5, a las cuales se les añade dosis intermedia de aditivo, presentan mejor capacidad de relleno con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.3. Para F'c = 175 kg/cm² y Relación a/c = 0.6.

4.3.1.3.1. Ensayo de Slump.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 5''$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 5''$$

En la tabla 98, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de slump, para la relación 0.6.

Tabla 98. Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes asentamientos.

	Valor de prueba = 5''					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Slump	2,777	3	,069	,750000	-,10936	1,60936

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos,

cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.6, a las cuales se les añade dosis bajas de aditivo, presentan mayores asentamientos con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.3.2. Ensayo de Caja en L.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 0.77$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 0.77$$

En la tabla 99, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de caja en L, para la relación 0.6.

Tabla 99. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes flujos.*

Valor de prueba = 0.77						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Caja en L	2,429	3	,093	,042500	-,01319	,09819

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.6, a las cuales se les añade dosis bajas de aditivo, presentan mejor flujo con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.3.3. Ensayo Embudo en V.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 17.68 \text{ seg.}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 17.68 \text{ seg.}$$

En la tabla 100, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de embudo en v para la relación 0.6.

Tabla 100. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes tiempos de flujo.*

Valor de prueba = 17.68 seg.						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Embudo en V	-2,287	3	,106	-,450000	-1,07620	,17620

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.6, a las cuales se les añade dosis bajas de aditivo, presentan mejores tiempos de flujo y deformabilidad con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.1.3.4. Ensayo de Ecurrimiento.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 708 \text{ mm}$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 708 \text{ mm}$$

En la tabla 101, se muestra los resultados de la prueba estadística para el ensayo de escurrimiento para la relación 0.6.

Tabla 101. *Prueba T para aseverar que las muestras presentan diferentes capacidades de relleno.*

	Valor de prueba = 708 mm					
	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Ensayo de Ecurrimiento	-2,428	3	,094	-,55000	-1,2709	,1709

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Se compara el valor del estadístico t obtenido con los valores límites para los intervalos de confianza de 95%, el valor de t obtenido se encuentra fuera de los límites obtenidos, cayendo en la zona de rechazo de la hipótesis nula, interpretándose, para las mezclas de relación agua/cemento = 0.6, a las cuales se les añade dosis bajas de aditivo, presentan mejor capacidad de relleno con respecto a la mezcla del concreto patrón.

4.3.2. Resistencia a la Compresión.

Para la verificación de la hipótesis se hará uso de la prueba de Anova.

4.3.2.1. Para F'c = 280 kg/cm² y Relación a/c = 0.4

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 280$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 280$$

En la tabla 102, se muestra los resultados de las pruebas estadísticas para resistencias de relación 0.6.

Tabla 102. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.

ANOVA					
Resistencias					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	199433,750	3	66477,917	4,162	0,023
Dentro de grupos	255577,200	16	15973,575		
Total	455010,950	19			

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

En la figura 57, se muestra la distribución de la prueba F, para la relación a/c = 0.4.

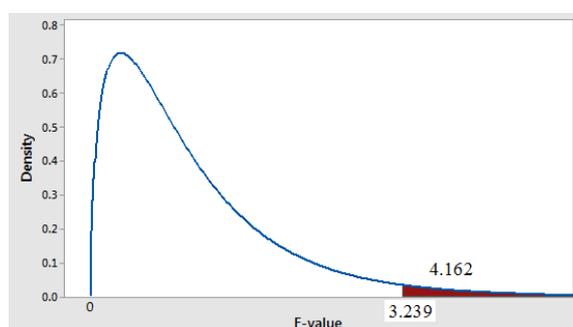


Figura 57. Distribución F para Concreto de Resistencia F'c = 280 kg/cm².

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23

Interpretación: El valor F obtenido por el análisis de ANOVA es de 4,162 y el valor buscado en la tabla F es 3.239, el valor se encuentra en el área sombreada que es la zona de rechazo de la hipótesis nula, por la que nos da a interpretar que las medias de los valores son diferentes y la adición del aditivo en altas dosis incrementan resistencia de mezcla con relación a/c = 0.4.

4.3.2.2. Para F'c = 210 kg/cm² y Relación a/c = 0.5

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 210$$

$$H_i: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 210$$

En la tabla 103, se muestra los resultados de las pruebas estadísticas para resistencias de relación 0.5.

Tabla 103. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.

ANOVA					
Resistencias					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	142781,200	3	47593,733	4,106	0,041
Dentro de grupos	185439,600	16	11589,975		
Total	328220,800	19			

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

En la figura 58, se muestra la distribución de la prueba F, para la relación a/c = 0.5.

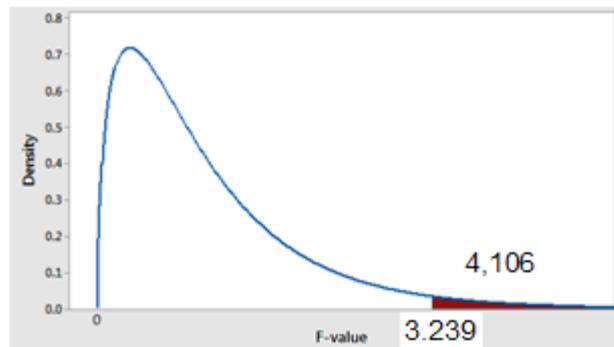


Figura 58. Distribución F para Concreto de Resistencia F'c = 210 kg/cm².

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23

Interpretación: El valor F obtenido por el análisis de ANOVA es de 4,106 y el valor buscado en la tabla F es 3.239, el valor se encuentra en el área sombreada que es la zona de rechazo de la hipótesis nula, por la que nos da a interpretar que las medias de los valores son diferentes y la adición del aditivo dosis intermedias incrementan la resistencia de mezcla con relación a/c = 0.5.

4.3.2.3. Para F'c = 175 kg/cm² y Relación a/c = 0.6.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = 175$$

$$H_i: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq 175$$

En la tabla 104, se muestra los resultados de las pruebas estadísticas para resistencias de relación 0.6.

Tabla 104. Resultados Prueba Anova Para la resistencia según los números de días usando aditivo nanosílice.

ANOVA					
Resistencias					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	86171,200	3	28723,730	4,219	0,179
Dentro de grupos	108920,000	16	6807,500		
Total	195091,200	19			

*. * La prueba realizada es significativa.

Nota: gl= Grado de libertad, Sig. = Índice de Significancia.

Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

En la figura 59, se muestra la distribución de la prueba F, para la relación a/c = 0.6.

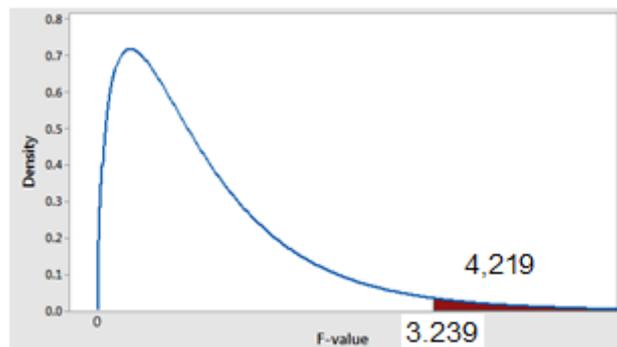


Figura 59. Distribución F para Concreto de Resistencia $F'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.
Fuente: Programa IBM SPSS Statistic V.23.

Interpretación: El valor F obtenido por el análisis de ANOVA es de 4,219 y el valor buscado en la tabla F es 3.239, el valor se encuentra en el área sombreada que es la zona de rechazo de la hipótesis nula, por la que nos da a interpretar que las medias de los valores son diferentes y la adición del aditivo en dosis bajas incrementan la resistencia de mezcla con relación a/c = 0.6.

CONCLUSIONES

➤ Conclusiones Para el Objetivo 1:

Consistencia y Resistencia para Relación de Mezcla $a/c = 0.4$.

- ✓ Dosificando adecuadamente el 2% de aditivo, se incrementó el asentamiento a $7 \frac{1}{4}$ ".
- ✓ Repartiendo beneficiosamente el 2% de aditivo, se potenció el diámetro final a 825 mm.
- ✓ Graduando convenientemente el 2% de aditivo, se aumentó la relación de alturas a 0.93.
- ✓ Distribuyendo adecuadamente el 2% de aditivo, se redujo el tiempo de vaciado a 7.05.
- ✓ Se halló que la dosificación adecuada, para obtener la máxima resistencia de 595 kg/cm^2 a los 28 días es del 2% de aditivo.
- ✓ Las mayores dosis de partículas de Nanosílice, causan desventajas.

➤ Conclusiones Para el Objetivo 2:

Consistencia y Resistencia para Relación de Mezcla $a/c = 0.5$:

- ✓ Graduando convenientemente el 1.5% de aditivo, se incrementó el asentamiento a $7 \frac{1}{2}$ ".
- ✓ Distribuyendo adecuadamente el 1.5% de aditivo, se incrementó el diámetro final a 760 mm.
- ✓ Adicionando beneficiosamente el 1.5% de aditivo, se mejoró la relación de alturas a 0.85.
- ✓ Dosificando gradualmente el 1.5% de aditivo, se redujo el tiempo de vaciado a 10.25 segundos.
- ✓ La cantidad adecuada de dosis, para la mayor resistencia de 498 kg/cm^2 a los 28 días, fue del 1.5%.

➤ Conclusiones Para el Objetivo 3:

Consistencia y Resistencia para Relación de Mezcla $a/c = 0.6$:

- ✓ Distribuyendo convenientemente el 1% de aditivo, se incrementó el asentamiento a $6 \frac{1}{2}$ ".
- ✓ Graduando apropiadamente el 1% de aditivo, se incrementó el diámetro final a 745 mm.
- ✓ Repartiendo beneficiosamente el 1% de aditivo, se obtuvo la máxima relación de H_2/H_1 , de 0.81.
- ✓ Dosificando adecuadamente el 1% de aditivo, se redujo el tiempo del ensayo a 13.47 segundos.
- ✓ Se encontró que la dosificación adecuada, que nos brinda una resistencia a la compresión de 389 kg/cm^2 a los 28 días, es del 1%.
- ✓ Con la utilización de las partículas de nanosílice, se redujo la cantidad de agua por m^3 de concreto.

RECOMENDACIONES

- ✓ Aconsejo utilizar altas dosis de aditivo, para concretos diseñados con relaciones bajas de agua/cemento, debido que presentan mejor trabajabilidad y dan altas resistencias a la compresión.
- ✓ Recomiendo utilizar las partículas de nanosílice, en obras, donde se requiera el desarrollo de altas resistencias tanto a temprana edad como a edades finales.
- ✓ Recomiendo utilizar las partículas de nanosílice, para obras donde existan demasiados refuerzos de aceros, debido que el aditivo permite la trabajabilidad en las mezclas.
- ✓ Aconsejo utilizar las partículas de nanosílice, para obras donde los espacios de vaciado sean pequeños, debido a que el aditivo mejoró la capacidad de paso de las mezclas.
- ✓ Recomiendo utilizar las partículas de nanosílice, para vaciados de concreto de gran área, ya que el uso del aditivo permite la trabajabilidad de las mezclas, logrando tener mayor control en las mezclas de concreto autocompactante.
- ✓ Recomiendo utilizar las partículas de nanosílice, para vaciados de concreto de gran área, ya que el uso del aditivo permite la trabajabilidad de las mezclas, logrando tener mayor control en las mezclas de concreto autocompactante.
- ✓ Recomiendo utilizar las partículas de nanosílice, con dosis hasta el 2%, ya que, con dosis superiores, se obtuvieron resultados desfavorables.
- ✓ Aconsejo seguir la investigación de la utilización de las partículas de nanosílice en concretos de diferente diseño al utilizado en la investigación.

ANEXOS

Anexo 1: Análisis Granulométrico Arena Gruesa.

Anexo 2: Análisis Granulométrico Piedra Chancada.

Anexo 3: Peso Unitario de los Agregados.

Anexo 4: Peso Específico de los Agregados.

Anexo 5: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4$.

Anexo 6: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 1\%$ de nanosílice.

Anexo 7: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 1.5\%$ de Nanosílice.

Anexo 8: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 2\%$ de Nanosílice.

Anexo 9: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 3\%$ de Nanosílice.

Anexo 10: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 5\%$ de Nanosílice.

Anexo 11: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.4 + 7\%$ de Nanosílice.

Anexo 12: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.5$.

Anexo 13: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.5 + 1\%$ de Nanosílice.

Anexo 14: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.5 + 1.5\%$ de Nanosílice.

Anexo 15: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.5 + 2\%$ de Nanosílice.

Anexo 16: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.5 + 3\%$ de Nanosílice.

Anexo 17: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.5 + 5\%$ de Nanosílice.

Anexo 18: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.5 + 7\%$ de Nanosílice.

Anexo 19: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.6$.

Anexo 20: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.6 + 1\%$ de Nanosílice.

Anexo 21: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.6 + 1.5\%$ de Nanosílice.

Anexo 22: Ensayo Tiempo de Fraguado para mezcla $a/c = 0.6 + 2\%$ de Nanosílice.

Anexo 23: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.6 + 3\%$ de Nanosílice.

Anexo 24: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.6 + 5\%$ de Nanosílice.

Anexo 25: Ensayo Tiempo de Fraguado para Mezcla $a/c = 0.6 + 7\%$ de Nanosílice

Anexo 26: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$.

Anexo 27: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 1% de nanosílice.

Anexo 28: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 1.5% de nanosílice.

Anexo 29: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 2% de nanosílice.

Anexo 30: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 3% de nanosílice.

Anexo 31: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 5% de nanosílice.

Anexo 32: Diseño de mezcla $a/c = 0.4$ con 7% de nanosílice.

Anexo 33: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$.

Anexo 34: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 1% de nanosílice.

Anexo 35: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 1.5% de nanosílice.

Anexo 36: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 2% de nanosílice.

Anexo 37: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 3% de nanosílice.

Anexo 38: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 5% de nanosílice.

Anexo 39: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 7% de nanosílice.

Anexo 40: Diseño de mezcla $a/c = 0.6$.

Anexo 41: Diseño de mezcla $a/c = 0.6$ con 1% de nanosílice.

Anexo 42: Diseño de mezcla $a/c = 0.6$ con 1.5% de nanosílice.

Anexo 43: Diseño de mezcla $a/c = 0.6$ con 2% de nanosílice.

Anexo 44: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 3% de nanosílice.

Anexo 45: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 5% de nanosílice.

Anexo 46: Diseño de mezcla $a/c = 0.5$ con 7% de nanosílice.

Anexo 47: Resultados ensayo Slump.

Anexo 48: Resultados ensayo caja en L.

Anexo 49: Resultados ensayo embudo en V.

Anexo 50: Resultados ensayo de Escurrimiento.

Anexo 51: Resultados ensayos de resistencia para relación $a/c = 0.4$.

Anexo 52: Resultados ensayos de resistencia para relación $a/c = 0.5$.

Anexo 53: Resultados ensayos de resistencia para relación $a/c = 0.6$.

Anexo 54: Comparación de Costos por m^3 para concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

Anexo 55: Comparación de Costos por m^3 para concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Anexo 56: Comparación de Costos por m^3 para concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$.

Anexo 57: Tabla de dosificaciones por m^3 .

Anexo 58: Comparación de Costos por m^3 , comparados entre la dosis y unacem.

Anexo 59: Ficha técnica aditivo GAIA NANOSÍLICE.

Anexo 60: Hoja de Seguridad aditivo GAIA NANOSÍLICE.

Anexo 61: Ficha técnica aditivo CHEMA ENTRAMPAIRE.

Anexo 62: Hoja de Seguridad aditivo CHEMA ENTRAMPAIRE.

Anexo 63: Certificado de Calibración Prensa Para Rotura de Probetas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ROBAYO, R; MATTEY, P; SILVA, Y y DELVASTO, S. Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida [En Línea] [Fecha de consulta: 7 de mayo del 2014]. Disponible en: <http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/6358/7946>.
- (2) ROBAYO, R; MATTEY, P; SILVA Y y DELVASTO, S. Comportamiento en Estado Fresco y endurecido de un Concreto Autocompactante, Adicionado con Escoria de carbón, y Elaborado con Agregado Grueso de Concreto Reciclado [En Línea] [Fecha de Consulta: 10 de octubre del 2014].
Disponible en: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/96/108.
- (3) LEÓN, N. Influencia de la Adición de Nano Sílice en el Hormigón Autocompactable. Tesis para optar el título de Magíster en Ingeniería Civil. Madrid - España: Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
- (4) JEREZ, J. Determinación de la Influencia Microsílice y Nanosílice en el Hormigón Sometido a Esfuerzos de Compresión. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Concepción - Chile: Universidad Tecnológica de Chile, 2013.
- (5) SALVATIERRA, E. Concreto de Alta Resistencia Usando Aditivo Superplastificante, Microsílice y Nanosílice con cemento Portland tipo I. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Lima - Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011.
- (6) MOLINA, F. Influencia de la Adición de Nanosílice en las Propiedades de un Concreto de Alta Resistencia para la Ciudad de Arequipa. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Arequipa - Perú: Universidad Nacional de San Agustín, 2017.
- (7) CHILENO, M. Relación del Aditivo Nanosílice en la Resistencia del Concreto en la Urbanización Chorrillos. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Huancayo - Perú: Universidad Peruana Los Andes, 2017.
- (8) RODRÍGUEZ, K. Aplicación del Concreto Autocompactante con Aditivo Incorporador de Aire Para el Estudio de Fisuras en las Losas de Concreto Armado. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
- (9) PORTUGAL, P. Tecnología del Concreto de alto Desempeño. Lima: info concrete. 2007. 22 pp.
- (10) RIVVA López, Enrique. Materiales para el Concreto. 2.^{da} ed. Perú: ICG, 2007. 168 pp.
- (11) RIVVA López, Enrique. Diseño de Mezclas. 2.^{da} ed. Perú: ICG, 2009. 205 pp.
- (12) RIVVA López, Enrique. Supervisión del Concreto en Obra. 3.^{ra} ed. Perú: ICG, 2010. 194 pp.

- (13) PASQUEL Carbajal, Enrique. Tópicos de Tecnología del Concreto. 2^{da}ed. Perú: 1998. 206 pp.
- (14) HERNÁNDEZ Sampieri, Roberto; FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, Iar. Metodología de la Investigación. Quinta Edición. México D.F.: McGraw-Hill, 2010. 542 pp.
- (15) ARRÉS, L. (s. f). Análisis Experimental de la Mejora de Adherencias de las Fibras Poliméricas en Micro Hormigones Autocompactantes. Valencia: Ingeniería de Edificación. 2006.
- (16) BRAVO, C., & GALARZA, P. Evaluación del Concreto Autocompactante Utilizando Aditivo Super Plastificante para su uso en Obras Rurales. Canales Científicos, 2007, 116 - 124 pp.
- (17) GARCIA, J.M., & BORRALLERRAS, P. Hormigón Autocompactado y Glenium: Un Compromiso Perfecto. Hormigón Basf, 2001, 1 – 22 pp.
- (18) KOSMATKA, S., KERKHOFF, B., PANARESSE, W., & TANESI, J. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. E.E.U.U.: Portland Cement Association, 2004, 5 - 34 pp.
- (19) ZERBINO, R. Hormigón Autocompactante Reforzado con Fibras, I SILAMCAA, 2012, 1–27 pp.
- (20) ZERBINO, R., BARRAGÁN, B., AGULLÓ, L., GARCÍA, T., & GETTU, R., Reología de Hormigones Autocompactantes, Ciencia y Tecnología del Hormigón, 2006, 51 - 64 pp.

PESO INICIAL 1000.00 gr

MUESTRAS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

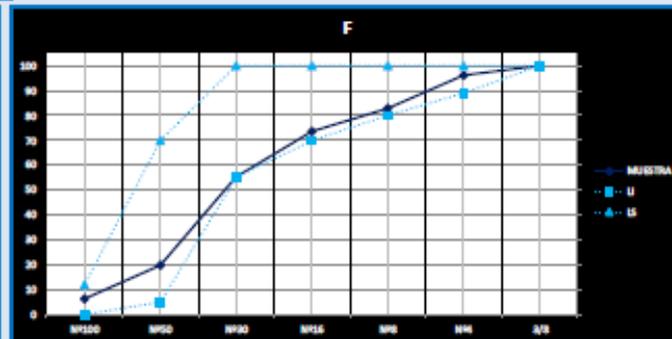
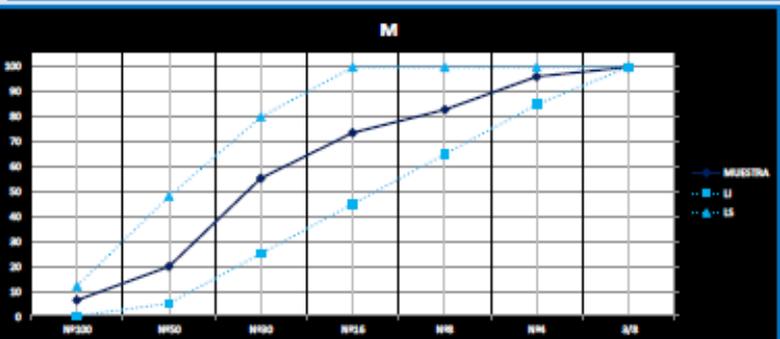
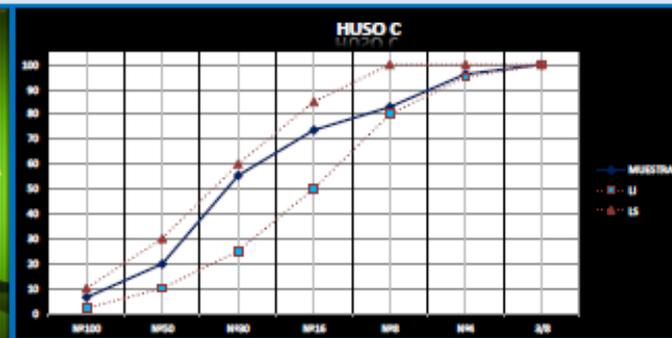
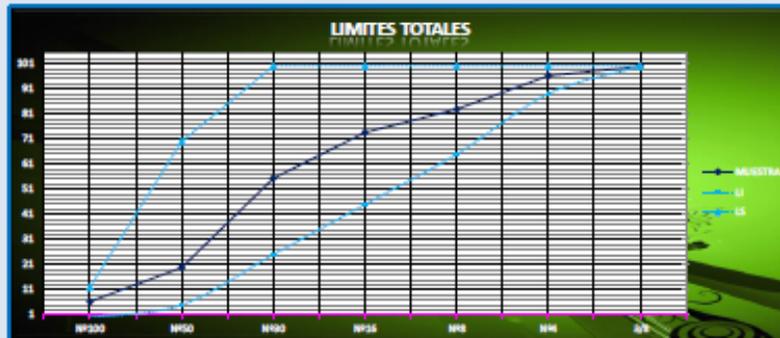
LIMITES PERMITIDOS

TAMIZ	M1	M2	M3	M4
3/8	31.70	32.00	28.70	30.80
N#4	37.20	38.90	36.60	38.23
N#6	141.90	134.30	122.30	132.83
N#16	99.60	93.00	85.40	92.67
N#30	182.60	176.70	188.20	182.57
N#50	330.60	355.10	380.60	355.43
N#100	140.80	140.40	123.60	124.93
N#200	27.20	23.60	25.20	25.33
FONDO	6.20	6.00	7.40	7.20
TOTAL	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

PESO RET.	% PASA RET.	% RET. PASA	% PASA PASA
30.80	3.08	3.08	100.00
38.23	3.82	6.90	96.18
132.83	13.28	20.19	82.89
92.67	9.27	29.45	73.63
182.57	18.26	47.71	55.37
355.43	35.54	83.25	19.83
134.93	13.49	96.75	6.33
25.33	2.53	99.28	3.80
7.20	0.72	100.00	3.08
1000.00			

LIMITES TOTALES		C		M		F	
100	100	100	100	100	100	100	100
89	100	95	100	85	100	89	100
65	100	80	100	65	100	80	100
45	100	50	85	45	100	70	100
25	100	25	60	25	80	55	100
5	70	10	30	5	48	5	70
0	12	2	10	0	12	0	12

MODULO DE FINURA 2.87



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR
TAMIEADO

AREDO N° 2
CANTERA PILCOMAYO
HORA MYP 400-011
DESCRIPCIÓN PIEDRA CHANCADA
FECHA INI 3/02/2018

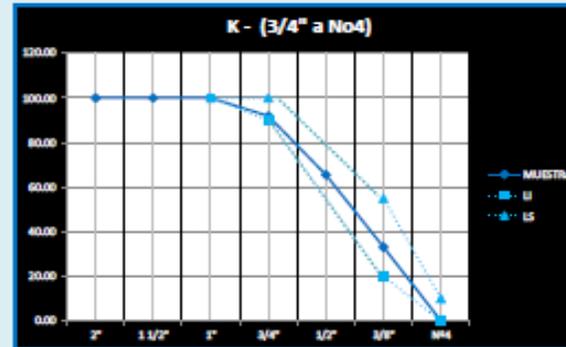
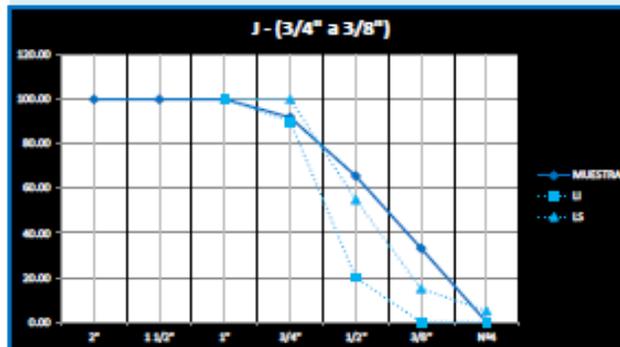
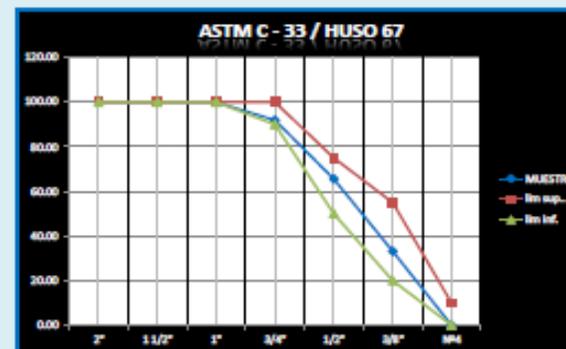
PIEDRA CHANCADA

TAMIZ	MUESTRA				ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO				LÍMITES PERMITIDOS			
	M1	M2	M3	PEOM	PREO. EXT.	% PREO. EXT.	% RET. ADO.	% PASA ADO.	I	ASTM C-33 HUSO 67	J	K
2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	100	100
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	100	100
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	100	100
3/4"	404.10	405.60	407.10	405.60	405.60	8.11	8.11	91.89	90	100	90	100
1/2"	1319.70	1313.60	1316.70	1316.67	1316.67	26.33	34.45	65.55	50	75	50	75
3/8"	1414.20	1480.00	1744.20	1421.07	1421.07	22.42	66.87	33.13	20	55	20	55
N#4	1466.00	1300.00	1510.00	1454.47	1454.47	23.13	100.00	0.00	0	10	0	10
	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	100.00						

MF 0.75

DIÁMETRO MÁXIMO (Doble)

3/4"





**Universidad
Continental**

**CARACTERISTICAS FISICAS
PUS - PUC**

ANEXO N°
CANTERA
NORMAS

3
PILCOMAYO
NTP 400.017
ASTM C29

PESO UNITARIO

FECHA INICIO

4/02/2018

P U S

ARENA	DATOS				MC1	MC2	MC3	PROM
	PESO BRIQUETA	1.665	1.665	1.665				
	PESO SIN COMPACTAR + BRIQUETA	6.910	6.920	6.975				
	PESO (Ar) SIN COMPACTAR	5.245	5.255	5.310	5.270			
	VOLUMEN BRIQUETA	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028			
RESULTADOS								
P U S		1916.36 Kg/m ³						

P U C

ARENA	DATOS				MC1	MC2	MC3	PROM
	PESO BRIQUETA	1.665	1.665	1.665				
	PESO COMPACTADO + BRIQUETA	7.197	7.181	7.180				
	PESO (Ar) COMPACTADO	5.532	5.516	5.515	5.521			
	VOLUMEN BRIQUETA	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028			
RESULTADOS								
P U C		2007.64 Kg/m ³						

PIEDRA	DATOS				MC1	MC2	MC3	PROM
	PESO BRIQUETA	5.470	5.470	5.470				
	PESO SIN COMPACTAR+ BRIQUETA	26.105	25.980	26.680				
	PESO (Pr) SIN COMPACTAR	20.635	20.51	21.210	20.785			
	VOLUMEN BRIQUETA	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138			
RESULTADOS								
P U S		1511.64 Kg/m ³						

PIEDRA	DATOS				MC1	MC2	MC3	PROM
	PESO BRIQUETA	5.470	5.470	5.470				
	PESO COMPACTADO + BRIQUETA	27.490	27.405	27.420				
	PESO (Pr) COMPACTADO	22.02	21.935	21.95	21.968			
	VOLUMEN BRIQUETA	0.0138	0.0138	0.0138	0.0138			
RESULTADOS								
P U C		1597.70 Kg/m ³						



CARACTERISTICAS FISICAS

PESO ESPECIFICO

ANEXO N°
CANTERA
NORMAS

GRUPO
FECHA INICIO

4

NTP 400.022
ASTM 127 - 128

4/02/2018

PIEDRA (Pd)

DATOS	M1	M2	M3	PROM
PESO DE LA MUESTRA SSS	1003.60	1003.90	1003.50	1003.67
PESO DE LA MUESTRA SECADO AL HORNO	998.80	998.20	997.80	998.27
PESO MUESTRA SSS + PESO DE CANASTILLA	3330.00	3332.00	3335.00	3332.33
PESO DE LA MUESTRA SSS DENTRO DEL AGUA	1370.00	1372.00	1375.00	1372.33
PESO DE LA CANASTILLA	1960.00	1960.00	1960.00	1960.00
PESO DE LA MUESTRA SSS DENTRO DEL AGUA	1370.00	1372.00	1375.00	1372.33

RESULTADOS	
PESO ESPECIFICO	2.71
% ABSORCION	0.54

PESO DE LA MUESTRA NATURAL	1005.80	1005.50	1005.30	1005.53
PESO DE LA MUESTRA SECA EN HORNO	1001.00	1000.90	1001.20	1001.03
%HUMEDAD	0.46			

ARENA (Ar)

DATOS	M1	M2	M3	PROM
PESO DE LA MUESTRA SSS	494.10	494.20	494.20	494.17
PESO DE LA MUESTRA SECADO AL HORNO	487.40	487.20	487.40	487.33
VOLUMEN DESPLAZADO	189.00	189.00	189.00	189.00

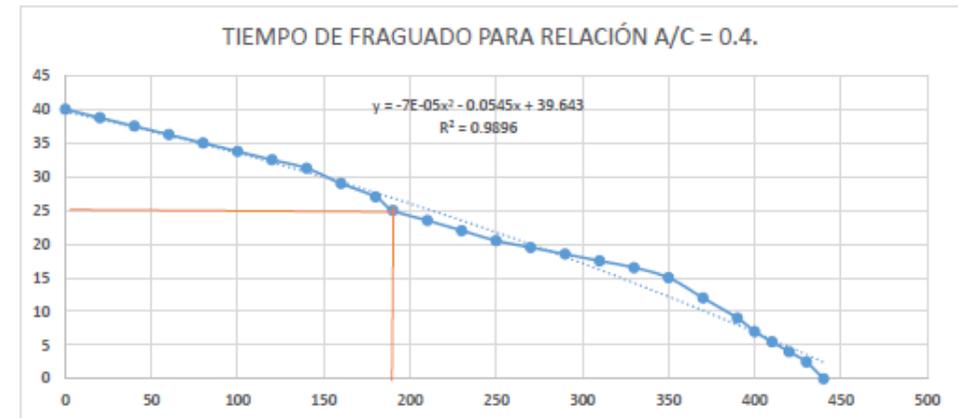
RESULTADOS	
PESO ESPECIFICO	2.58
% ABSORCION	1.40

PESO DE LA MUESTRA NATURAL	500.10	500.00	500.10	500.07
PESO DE LA MUESTRA SECA EN HORNO	489.80	489.50	489.60	489.63
%HUMEDAD	2.13			



ANEXO N°	5
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	5/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	29
12:00:00 p. m.	180	18	27
12:10:00 p. m.	190	18	25
12:30:00 p. m.	210	18	23.5
12:50:00 p. m.	230	18	22
1:10:00 p. m.	250	18	20.5
1:30:00 p. m.	270	18	19.5
1:50:00 p. m.	290	18	18.5
2:10:00 p. m.	310	18	17.5
2:30:00 p. m.	330	15	16.5
2:50:00 p. m.	350	15	15
3:10:00 p. m.	370	15	12
3:30:00 p. m.	390	15	9
3:40:00 p. m.	400	15	7
3:50:00 p. m.	410	15	5.5
4:00:00 p. m.	420	15	4
4:10:00 p. m.	430	15	2.5
4:20:00 p. m.	440	15	0

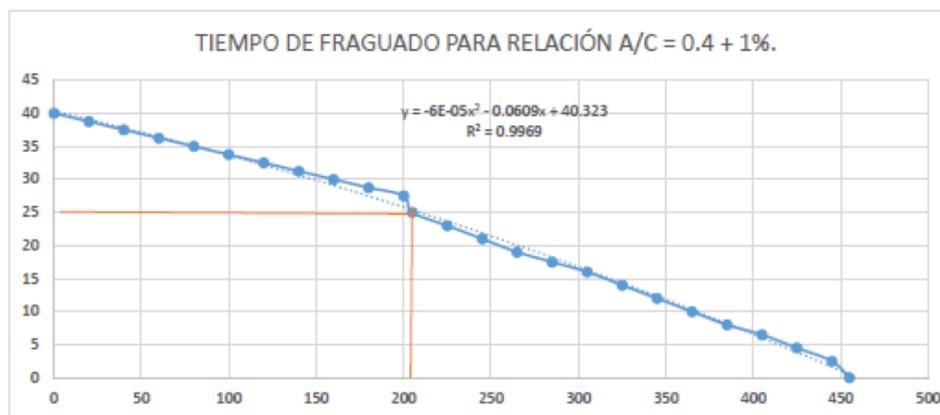


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	190	12:10 p. m.
TFF	440	4:20 p. m.



ANEXO N°	6
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	6/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 1 % de Nanosílice

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:25:00 p. m.	205	18	25
12:45:00 p. m.	225	18	23
1:05:00 p. m.	245	18	21
1:25:00 p. m.	265	18	19
1:45:00 p. m.	285	18	17.5
2:05:00 p. m.	305	18	16.0
2:25:00 p. m.	325	15	14.0
2:45:00 p. m.	345	15	12.0
3:05:00 p. m.	365	15	10.0
3:25:00 p. m.	385	15	8.0
3:45:00 p. m.	405	12	6.5
4:05:00 p. m.	425	12	4.5
4:25:00 p. m.	445	12	2.5
4:35:00 p. m.	455	12	0

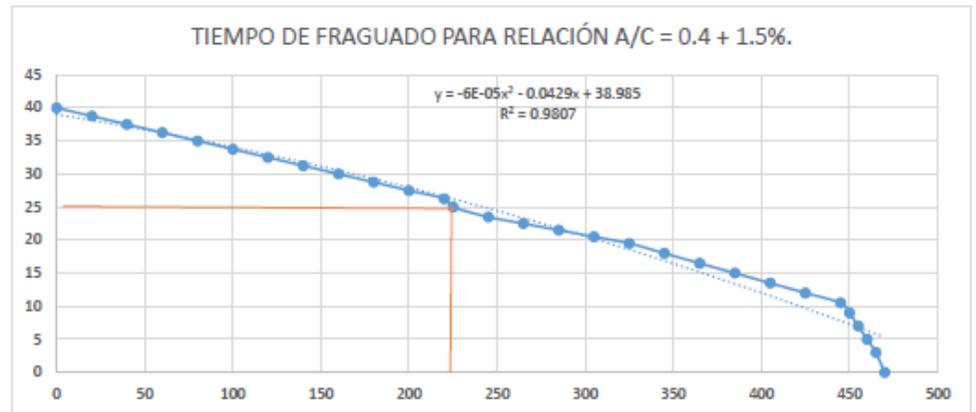


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	205	12:25 p. m.
TFF	455	4:35 p. m.



ANEXO N°	7
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	7/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 1.5 % de Nanosilíce

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:40:00 p. m.	220	18	26
12:45:00 p. m.	225	18	25
1:05:00 p. m.	245	18	23.5
1:25:00 p. m.	265	18	22.5
1:45:00 p. m.	285	18	21.5
2:05:00 p. m.	305	18	20.5
2:25:00 p. m.	325	15	19.5
2:45:00 p. m.	345	15	18
3:05:00 p. m.	365	15	16.5
3:25:00 p. m.	385	15	15
3:45:00 p. m.	405	12	13.5
4:05:00 p. m.	425	12	12
4:25:00 p. m.	445	12	10.5
4:30:00 p. m.	450	12	9
4:35:00 p. m.	455	12	7
4:40:00 p. m.	460	12	5
4:45:00 p. m.	465	12	3
4:50:00 p. m.	470	12	0

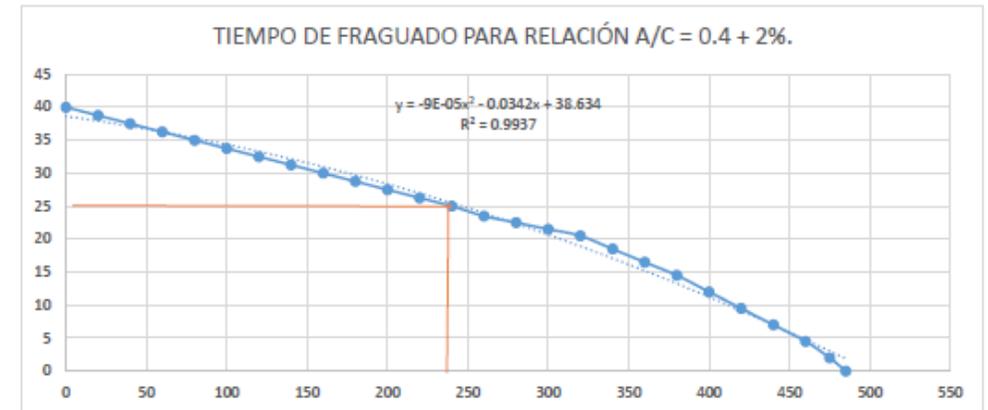


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	225	12:45 p. m.
TFF	470	4:50 p. m.



ANEXO N°	8
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	8/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 2 % de Nanosilíce

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:40:00 p. m.	220	18	26
1:00:00 p. m.	240	18	25
1:20:00 p. m.	260	18	23.5
1:40:00 p. m.	280	18	22.5
2:00:00 p. m.	300	18	21.5
2:20:00 p. m.	320	18	20.5
2:40:00 p. m.	340	15	18.5
3:00:00 p. m.	360	15	16.5
3:20:00 p. m.	380	15	14.5
3:40:00 p. m.	400	15	12
4:00:00 p. m.	420	12	9.5
4:20:00 p. m.	440	12	7
4:40:00 p. m.	460	12	4.5
4:55:00 p. m.	475	12	2
5:05:00 p. m.	485	9	0

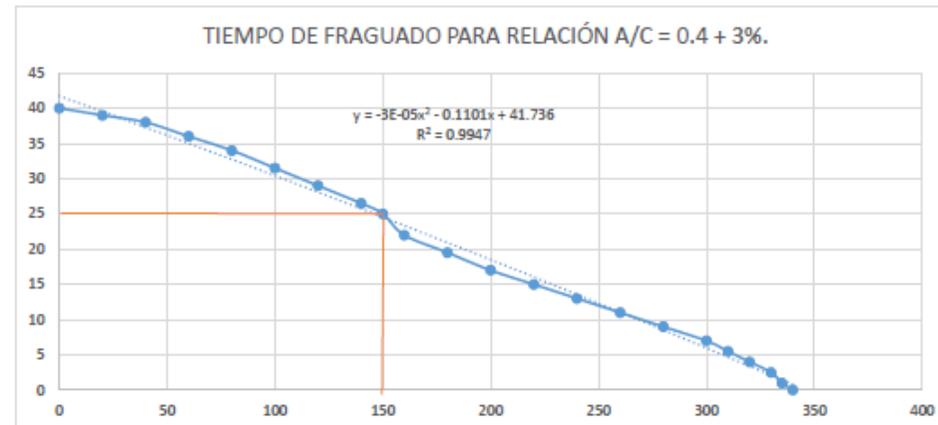


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	240	1:00 p. m.
TFF	485	5:05 p. m.



ANEXO N°	9
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	8/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 3 % de Nanosilíce

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	34
10:40:00 a. m.	100	15.5	31.5
11:00:00 a. m.	120	15.5	29
11:20:00 a. m.	140	15.5	26.5
11:30:00 a. m.	150	15.5	25
11:40:00 a. m.	160	18	22
12:00:00 p. m.	180	18	19.5
12:20:00 p. m.	200	18	17
12:40:00 p. m.	220	18	15
1:00:00 p. m.	240	18	13
1:20:00 p. m.	260	18	11
1:40:00 p. m.	280	18	9
2:00:00 p. m.	300	18	7
2:10:00 p. m.	310	18	5.5
2:20:00 p. m.	320	18	4
2:30:00 p. m.	330	18	2.5
2:35:00 p. m.	335	18	1
2:40:00 p. m.	340	18	0

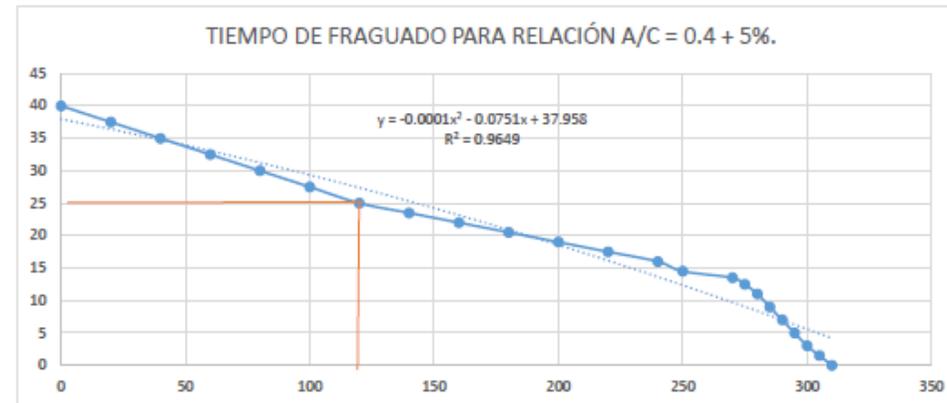


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	150	1:00 p. m.
TFF	340	2:40 p. m.



ANEXO N°	10
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	8/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 5 % de Nanosílice

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	37.5
9:40:00 a. m.	40	15.5	35
10:00:00 a. m.	60	15.5	32.5
10:20:00 a. m.	80	15.5	30
10:40:00 a. m.	100	15.5	27.5
11:00:00 a. m.	120	15.5	25
11:20:00 a. m.	140	15.5	23.5
11:40:00 a. m.	160	18	22
12:00:00 p. m.	180	18	20.5
12:20:00 p. m.	200	18	19
12:40:00 p. m.	220	18	17.5
1:00:00 p. m.	240	18	16
1:20:00 p. m.	250	18	14.5
1:30:00 p. m.	270	18	13.5
1:35:00 p. m.	275	18	12.5
1:40:00 p. m.	280	18	11
1:45:00 p. m.	285	18	9
1:50:00 p. m.	290	18	7
1:55:00 p. m.	295	18	5
2:00:00 p. m.	300	18	3
2:05:00 p. m.	305	18	1.5
2:10:00 p. m.	310	18	0

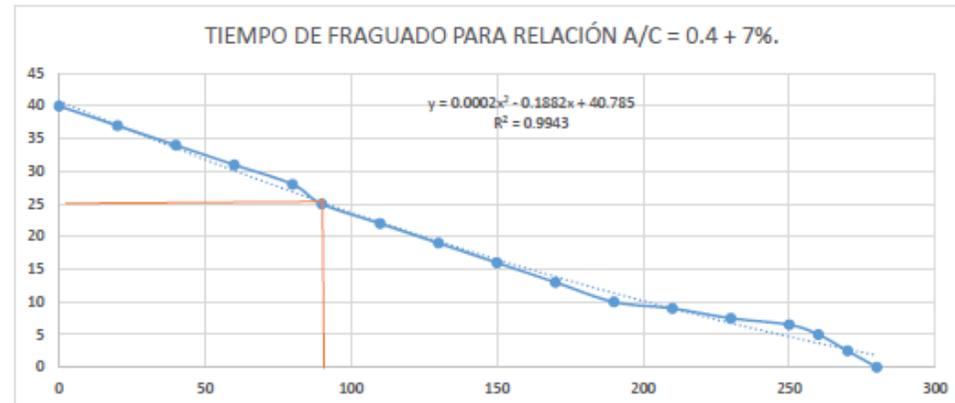


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	120	11:00 a. m.
TFF	310	2:10 p. m.



ANEXO N°	11
F'c	280 kg/cm ²
Fecha	8/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.4 + 7 % de Nanosilice

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	37
9:40:00 a. m.	40	15.5	34
10:00:00 a. m.	60	15.5	31
10:20:00 a. m.	80	15.5	28
10:30:00 a. m.	90	15.5	25
10:50:00 a. m.	110	15.5	22.0
11:10:00 a. m.	130	15.5	19.0
11:30:00 a. m.	150	18	16.0
11:50:00 a. m.	170	18	13.0
12:10:00 p. m.	190	18	10.0
12:30:00 p. m.	210	18	9.0
12:50:00 p. m.	230	18	7.5
1:10:00 p. m.	250	18	6.5
1:20:00 p. m.	260	18	5.0
1:30:00 p. m.	270	18	2.5
1:40:00 p. m.	280	18	0.0

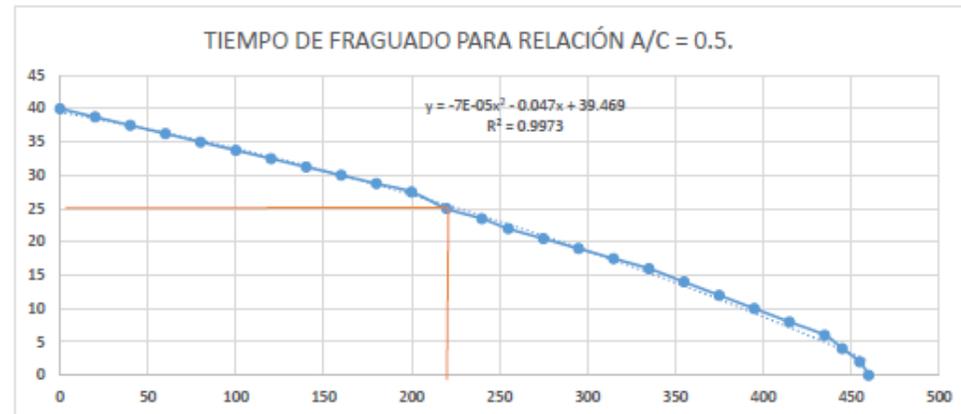


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	90	10:30 a. m.
TFF	280	1:40 p. m.



ANEXO N°	12
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	9/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:40:00 p. m.	220	18	25
1:00:00 p. m.	240	18	23.5
1:15:00 p. m.	255	18	22.0
1:35:00 p. m.	275	18	20.5
1:55:00 p. m.	295	18	19.0
2:15:00 p. m.	315	18	17.5
2:35:00 p. m.	335	15	16
2:55:00 p. m.	355	15	14
3:15:00 p. m.	375	15	12
3:35:00 p. m.	395	15	10
3:55:00 p. m.	415	12	8
4:15:00 p. m.	435	12	6
4:25:00 p. m.	445	12	4
4:35:00 p. m.	455	12	2
4:40:00 p. m.	460	9	0

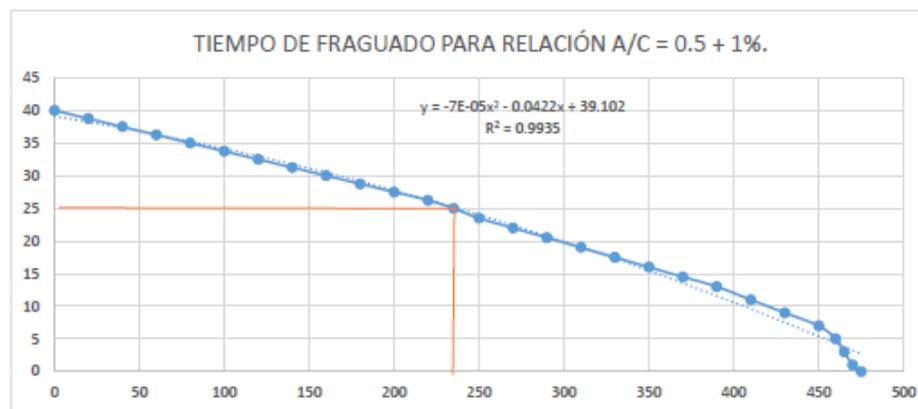


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	220	12:40 p. m.
TFF	460	4:40 p. m.



ANEXO N°	13
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	11/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5 + 1 % de Nanosilice

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:40:00 p. m.	220	18	26
12:55:00 p. m.	235	18	25
1:10:00 p. m.	250	18	23.5
1:30:00 p. m.	270	18	22
1:50:00 p. m.	290	18	20.5
2:10:00 p. m.	310	18	19
2:30:00 p. m.	330	15	17.5
2:50:00 p. m.	350	15	16
3:10:00 p. m.	370	15	14.5
3:30:00 p. m.	390	15	13
3:50:00 p. m.	410	12	11
4:10:00 p. m.	430	12	9
4:30:00 p. m.	450	12	7
4:40:00 p. m.	460	12	5
4:45:00 p. m.	465	12	3
4:50:00 p. m.	470	12	1
4:55:00 p. m.	475	12	0

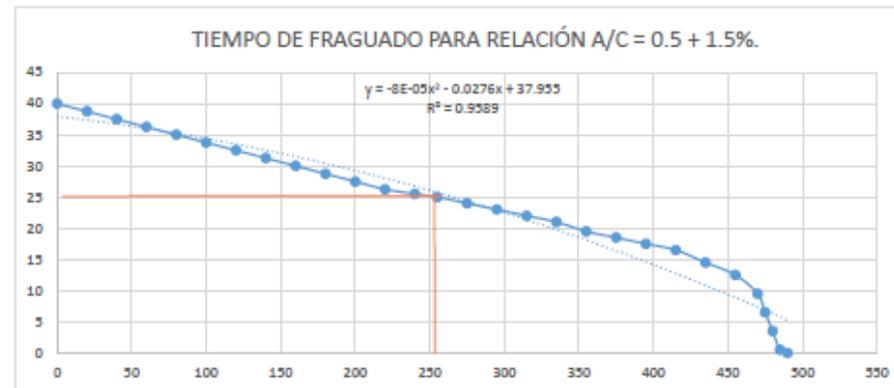


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	235	12:55 p. m.
TFF	475	4:55 p. m.



ANEXO N°	14
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	12/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5 + 1.5% de Nanosilíce

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	36
10:20:00 a. m.	80	15.5	35
10:40:00 a. m.	100	15.5	34
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31
11:40:00 a. m.	160	18	30
12:00:00 p. m.	180	18	29
12:20:00 p. m.	200	18	28
12:40:00 p. m.	220	18	26
1:00:00 p. m.	240	18	25.5
1:15:00 p. m.	255	18	25
1:35:00 p. m.	275	18	24
1:55:00 p. m.	295	18	23
2:15:00 p. m.	315	18	22
2:35:00 p. m.	335	15	21
2:55:00 p. m.	355	15	19.5
3:15:00 p. m.	375	15	18.5
3:35:00 p. m.	395	15	17.5
3:55:00 p. m.	415	12	16.5
4:15:00 p. m.	435	12	14.5
4:35:00 p. m.	455	12	12.5
4:50:00 p. m.	470	12	9.5
4:55:00 p. m.	475	9	6.5
5:00:00 p. m.	480	9	3.5
5:05:00 p. m.	485	9	0.5
5:10:00 p. m.	490	9	0

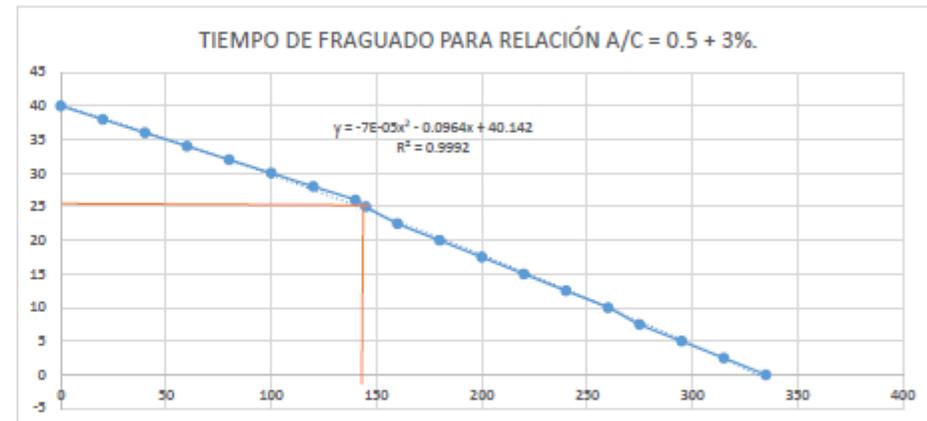


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	255	1:15 p. m.
TFF	490	5:10 p. m.



ANEXO N°	16
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	13/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5 + 3% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	38
9:40:00 a. m.	40	15.5	36
10:00:00 a. m.	60	15.5	34
10:20:00 a. m.	80	15.5	32
10:40:00 a. m.	100	15.5	30
11:00:00 a. m.	120	15.5	28
11:20:00 a. m.	140	15.5	26
11:25:00 a. m.	145	15.5	25
11:40:00 a. m.	160	18	22.5
12:00:00 p. m.	180	18	20.0
12:20:00 p. m.	200	18	17.5
12:40:00 p. m.	220	18	15.0
1:00:00 p. m.	240	18	12.5
1:20:00 p. m.	260	18	10.0
1:35:00 p. m.	275	18	7.5
1:55:00 p. m.	295	18	5.0
2:15:00 p. m.	315	18	2.5
2:35:00 p. m.	335	15	0

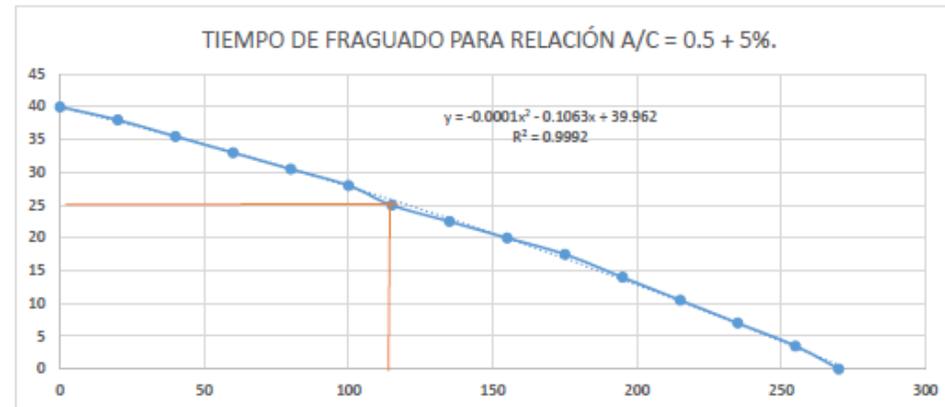


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	145	11:25 a. m.
TFP	335	2:35 p. m.



ANEXO N°	17
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	13/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5 + 5% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	38
9:40:00 a. m.	40	15.5	35.5
10:00:00 a. m.	60	15.5	33
10:20:00 a. m.	80	15.5	30.5
10:40:00 a. m.	100	15.5	28
10:55:00 a. m.	115	15.5	25
11:15:00 a. m.	135	15.5	22.5
11:35:00 a. m.	155	18	20
11:55:00 a. m.	175	18	17.5
12:15:00 p. m.	195	18	14
12:35:00 p. m.	215	18	10.5
12:55:00 p. m.	235	18	7
1:15:00 p. m.	255	18	3.5
1:30:00 p. m.	270	18	0

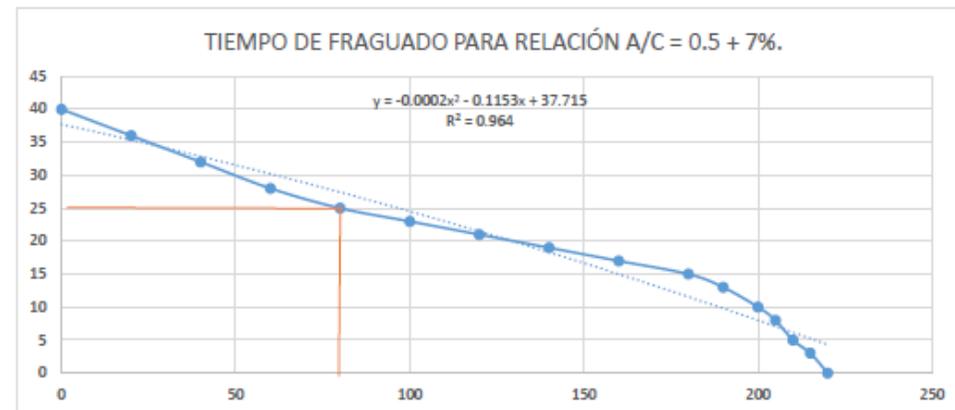


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	115	10:55 a. m.
TFF	270	1:30 p. m.



ANEXO N°	18
F'c	210 kg/cm ²
Fecha	13/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.5 + 7% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	36
9:40:00 a. m.	40	15.5	32
10:00:00 a. m.	60	15.5	28
10:20:00 a. m.	80	15.5	25
10:40:00 a. m.	100	15.5	23
11:00:00 a. m.	120	15.5	21
11:20:00 a. m.	140	15.5	19
11:40:00 a. m.	160	18	17
12:00:00 p. m.	180	18	15
12:10:00 p. m.	190	18	13
12:20:00 p. m.	200	18	10
12:25:00 p. m.	205	18	8
12:30:00 p. m.	210	18	5
12:35:00 p. m.	215	18	3
12:40:00 p. m.	220	18	0

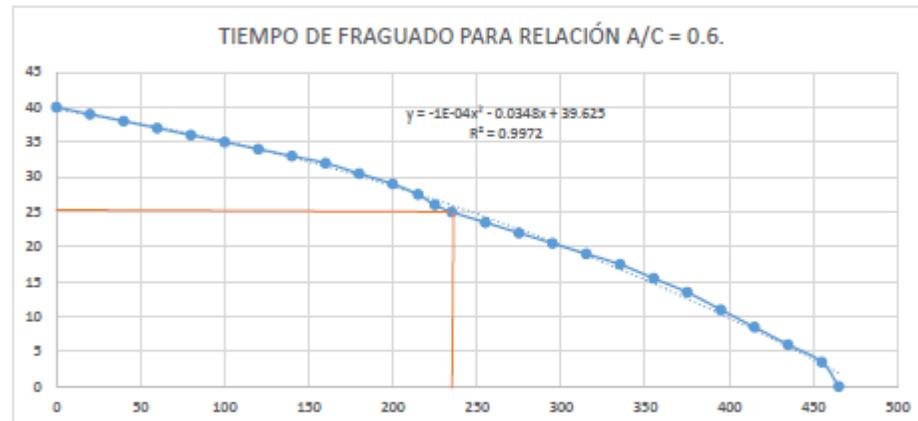


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	80	10:20 a. m.
TFF	220	12:40 p. m.



ANEXO N°	19
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	14/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.6.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	37
10:20:00 a. m.	80	15.5	36
10:40:00 a. m.	100	15.5	35
11:00:00 a. m.	120	15.5	34
11:20:00 a. m.	140	15.5	33
11:40:00 a. m.	160	18	32
12:00:00 p. m.	180	18	30.5
12:20:00 p. m.	200	18	29.0
12:35:00 p. m.	215	18	27.5
12:40:00 p. m.	225	18	26.0
12:55:00 p. m.	235	18	25
1:15:00 p. m.	255	18	23.5
1:35:00 p. m.	275	18	22
1:55:00 p. m.	295	18	20.5
2:15:00 p. m.	315	18	19
2:35:00 p. m.	335	15	17.5
2:55:00 p. m.	355	15	15.5
3:15:00 p. m.	375	15	13.5
3:35:00 p. m.	395	15	11
3:55:00 p. m.	415	12	8.5
4:15:00 p. m.	435	12	6
4:35:00 p. m.	455	12	3.5
4:45:00 p. m.	465	12	0

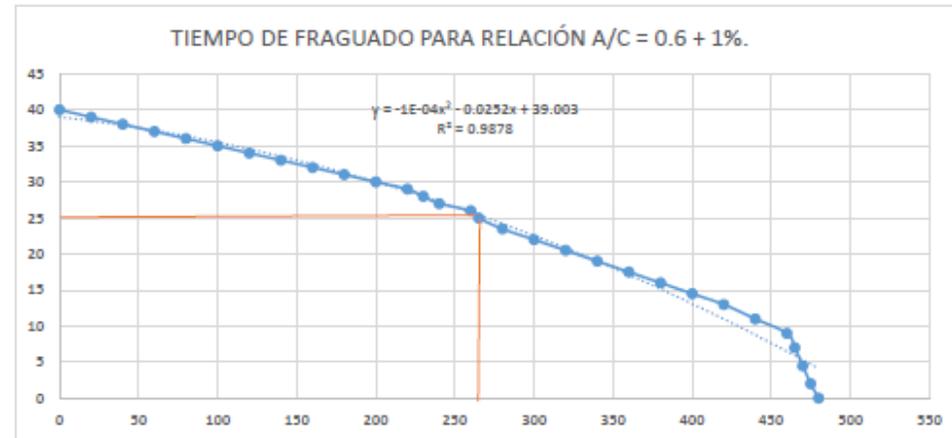


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	235	12:35 p. m.
TFF	465	4:45 p. m.



ANEXO N°	20
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	15/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.6 + 1% de Nanosilice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	37
10:20:00 a. m.	80	15.5	36
10:40:00 a. m.	100	15.5	35
11:00:00 a. m.	120	15.5	34
11:20:00 a. m.	140	15.5	33
11:40:00 a. m.	160	18	32
12:00:00 p. m.	180	18	31
12:20:00 p. m.	200	18	30
12:40:00 p. m.	220	18	29
12:50:00 p. m.	230	18	28
1:00:00 p. m.	240	18	27
1:20:00 p. m.	260	18	26
1:25:00 p. m.	265	18	25
1:40:00 p. m.	280	18	23.5
2:00:00 p. m.	300	18	22
2:20:00 p. m.	320	18	20.5
2:40:00 p. m.	340	15	19
3:00:00 p. m.	360	15	17.5
3:20:00 p. m.	380	15	16
3:40:00 p. m.	400	15	14.5
4:00:00 p. m.	420	12	13
4:20:00 p. m.	440	12	11
4:40:00 p. m.	460	12	9
4:45:00 p. m.	465	12	7
4:50:00 p. m.	470	12	4.5
4:55:00 p. m.	475	12	2
5:00:00 p. m.	480	9	0

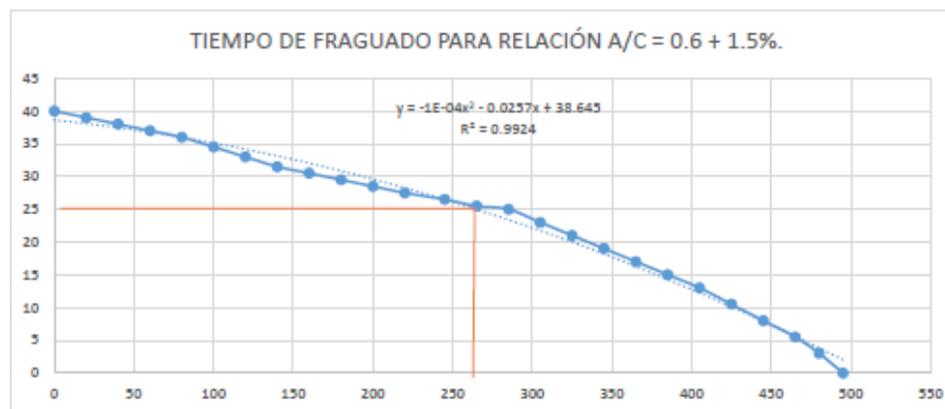


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	265	1:25 p. m.
TFF	480	5:00 p. m.



ANEXO N°	21
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	16/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.6 + 1.5 % de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39
9:40:00 a. m.	40	15.5	38
10:00:00 a. m.	60	15.5	37
10:20:00 a. m.	80	15.5	36
10:40:00 a. m.	100	15.5	34.5
11:00:00 a. m.	120	15.5	33
11:20:00 a. m.	140	15.5	31.5
11:40:00 a. m.	160	18	30.5
12:00:00 p. m.	180	18	29.5
12:20:00 p. m.	200	18	28.5
12:40:00 p. m.	220	18	27.5
1:05:00 p. m.	245	18	26.5
1:25:00 p. m.	265	18	25.5
1:45:00 p. m.	285	18	25
2:05:00 p. m.	305	18	23
2:25:00 p. m.	325	18	21
2:45:00 p. m.	345	15	19
3:05:00 p. m.	365	15	17
3:25:00 p. m.	385	15	15
3:45:00 p. m.	405	15	13
4:05:00 p. m.	425	12	10.5
4:25:00 p. m.	445	12	8
4:45:00 p. m.	465	12	5.5
5:00:00 p. m.	480	12	3
5:15:00 p. m.	495	9	0

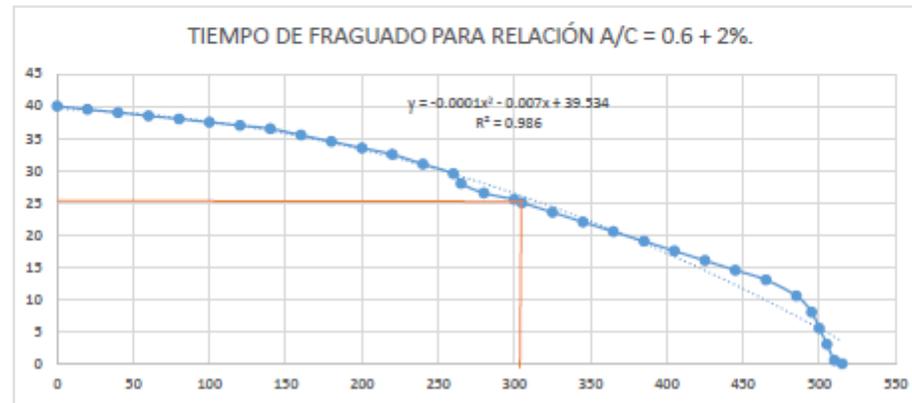


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	265	1:45 p. m.
TFF	495	5:15 p. m.



ANEXO N°	22
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	17/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto Patrón de Relación a/c = 0.6 + 2% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	39.5
9:40:00 a. m.	40	15.5	39.0
10:00:00 a. m.	60	15.5	38.5
10:20:00 a. m.	80	15.5	38.0
10:40:00 a. m.	100	15.5	37.5
11:00:00 a. m.	120	15.5	37.0
11:20:00 a. m.	140	15.5	36.5
11:40:00 a. m.	160	18	35.5
12:00:00 p. m.	180	18	34.5
12:20:00 p. m.	200	18	33.5
12:40:00 p. m.	220	18	32.5
1:00:00 p. m.	240	18	31.0
1:20:00 p. m.	260	18	29.5
1:25:00 p. m.	265	18	28.0
1:40:00 p. m.	280	18	26.5
2:00:00 p. m.	300	18	25.5
2:05:00 p. m.	305	18	25
2:25:00 p. m.	325	18	23.5
2:45:00 p. m.	345	15	22
3:05:00 p. m.	365	15	20.5
3:25:00 p. m.	385	15	19
3:45:00 p. m.	405	15	17.5
4:05:00 p. m.	425	12	16
4:25:00 p. m.	445	12	14.5
4:45:01 p. m.	465	12	13
5:05:00 p. m.	485	12	10.5
5:15:00 p. m.	495	9	8
5:20:00 p. m.	500	9	5.5
5:25:00 p. m.	505	9	3
5:30:00 p. m.	510	9	0.5
5:35:00 p. m.	515	9	0

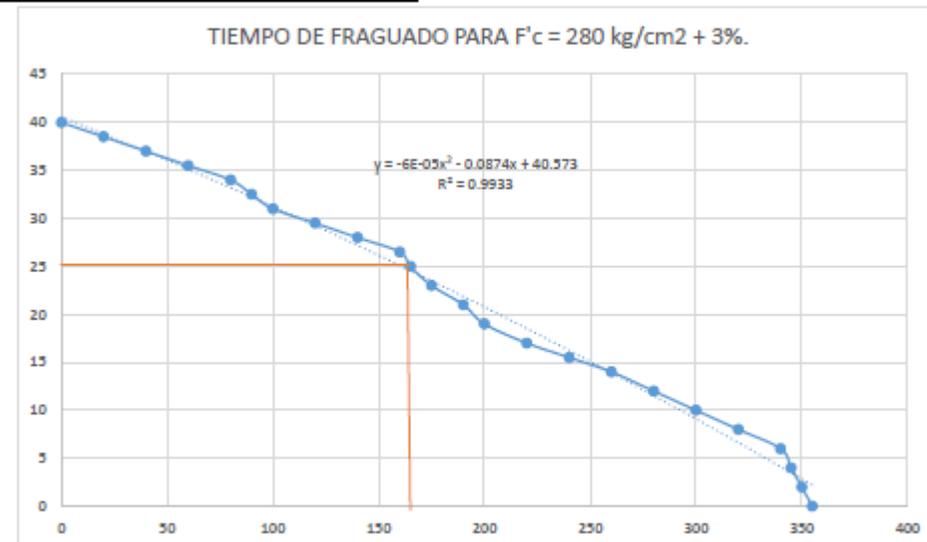


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	305	2:05 p. m.
TFF	515	5:35 p. m.



ANEXO N°	23
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	17/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto de Relación a/c = 0.6 + 3% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	38.5
9:40:00 a. m.	40	15.5	37
10:00:00 a. m.	60	15.5	35.5
10:20:00 a. m.	80	15.5	34
10:30:00 a. m.	90	15.5	32.5
10:40:00 a. m.	100	15.5	31
11:00:00 a. m.	120	15.5	29.5
11:20:00 a. m.	140	15.5	28
11:40:00 a. m.	160	18	26.5
11:45:00 a. m.	165	18	25
11:55:00 a. m.	175	18	23
12:10:00 p. m.	190	18	21
12:20:00 p. m.	200	18	19
12:40:00 p. m.	220	18	17
1:00:00 p. m.	240	18	15.5
1:20:00 p. m.	260	18	14
1:40:00 p. m.	280	18	12
2:00:00 p. m.	300	18	10
2:20:00 p. m.	320	18	8
2:40:00 p. m.	340	18	6
2:45:00 p. m.	345	18	4
2:50:00 p. m.	350	18	2
2:55:00 p. m.	355	18	0

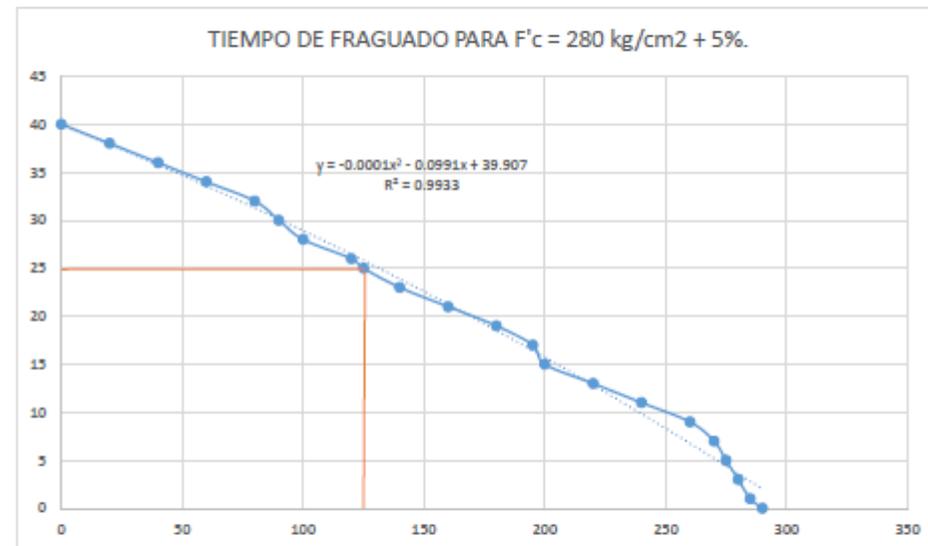


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	165	11:45 a. m.
TFF	355	2:55 p. m.



ANEXO N°	24
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	17/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto de Relación a/c = 0.6 + 5% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	38
9:40:00 a. m.	40	15.5	36
10:00:00 a. m.	60	15.5	34
10:20:00 a. m.	80	15.5	32
10:30:00 a. m.	90	15.5	30
10:40:00 a. m.	100	15.5	28
11:00:00 a. m.	120	15.5	26
11:05:00 a. m.	125	15.5	25
11:20:00 a. m.	140	15.5	23
11:40:00 a. m.	160	18	21
12:00:00 p. m.	180	18	19
12:20:00 p. m.	195	18	17
12:40:00 p. m.	200	18	15
1:00:00 p. m.	220	18	13
1:10:00 p. m.	240	18	11
1:20:00 p. m.	260	18	9
1:30:00 p. m.	270	18	7
1:35:00 p. m.	275	18	5
1:40:00 p. m.	280	18	3
1:45:00 p. m.	285	18	1
1:50:00 p. m.	290	18	0

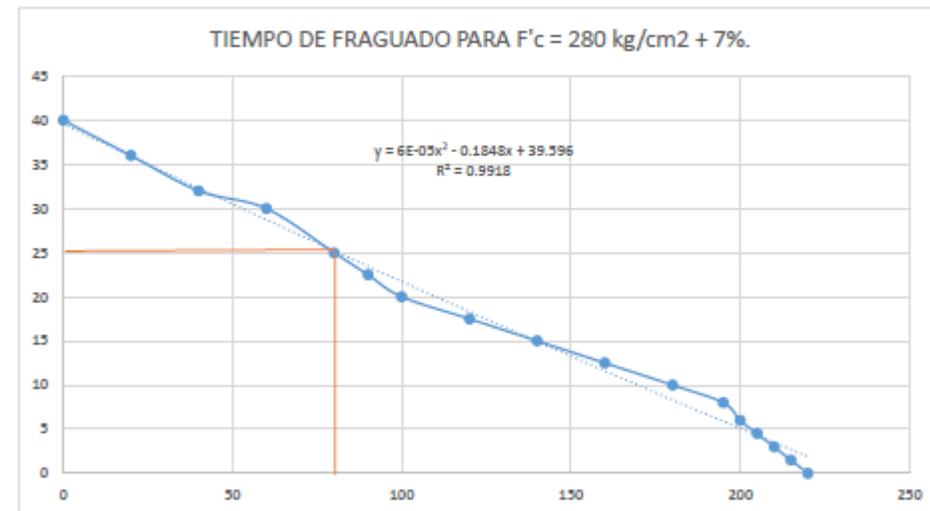


Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	125	11:05 a. m.
TFF	290	1:50 p. m.



ANEXO N°	25
F'c	175 kg/cm ²
Fecha	17/02/2018
Tipo de Concreto	Concreto de Relación a/c = 0.6 + 7% de Nanosílice.

HORA	MINUTOS	TEMPERATURA	PENETRACIÓN
9:00:00 a. m.	0	15.5	40
9:20:00 a. m.	20	15.5	36
9:40:00 a. m.	40	15.5	32
10:00:00 a. m.	60	15.5	30
10:20:00 a. m.	80	15.5	25
10:30:00 a. m.	90	15.5	23
10:40:00 a. m.	100	15.5	20
11:00:00 a. m.	120	15.5	18
11:20:00 a. m.	140	15.5	15
11:40:00 a. m.	160	18	13
12:00:00 p. m.	180	18	10
12:15:00 p. m.	195	18	8
12:20:00 p. m.	200	18	6
12:25:00 p. m.	205	18	4.5
12:30:00 p. m.	210	18	3
12:35:00 p. m.	215	18	1.5
12:40:00 p. m.	220	18	0



Ensayo de Tiempo de Fraguado	Minuto	Hora
TFI	80	10:20 a. m.
TFF	220	12:40 p. m.



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	

Cemento Andino Tipo I

Método ACI 211.4

f_c	280	kg/cm ²
f_{cr}	364	kg/cm ²
Slump	5	"

	D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Dn da1bls (kg)	V1Tnda1bls (pie ³)	Vol Briqueta	P 1cono (kg)	P 1briqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	498	0.159	1	498	1	42.50	1	1.47	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	183	0.37	15.63	15.63	3.39	1.21	0.38	5.65	15.63
pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	1.96	2.90	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	676	0.262	1.36	691	1.39	58.96	1.09	2.04	4.56	1.42	21.34	1.09
Nanosilice	0.0%	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	4.98	kg									
1.50	N I E M	7.47	kg									
2.00	T T L	9.96	kg									

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 498 kg		b/bo= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		
Slump	Dnmax	f_{cr}	con	Dnmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.005	m ³
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	690.71	kg	0.010	0.0016
5	H2O	364	a/c	2.8	2.87	H2O	183.03	lt	0.007	0.010
7	197	350	0.4	0.62	b/b0					0.0021

1bls	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	leta
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg





ANEXO N° 28 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.4 + 1.5% de Nanosilice

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	

Cemento Andino Tipo I

Método ACI 211.4

f'c	280	kg/cm ²
f'cr	364	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vtndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P 1cono (kg)	P 1briqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	498	0.159	1	498	1	42.50	1.47	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	183	0.37	15.65	3.40	1.21	0.38	5.66	15.65
Pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	2.90	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	638	0.247	1.28	651	1.31	55.59	1.92	4.30	1.34	20.11	1.02
Nanosilice	1.5%	0.015	0.015	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.02
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A X C	0.00	kg								
1.00	A D E	4.98	kg								
1.50	N I E M	7.47	kg								
2.00	T T L	9.96	kg								

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 498 kg		b/ba= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		0.005 m ³	
Slump	Dnmax	f'cr	con	Dmax	MF	Pdc	983.26 kg	0.007	0.010	0.0016	
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	651.18 kg			0.0021	
5	H2O	364	a/c	2.8	2.87	H2O	183.32 lt	1bts	42.5	kg	1
7	197	350	0.4	0.62	b/b0	0.6		1	m ³	35.3	pie ³
								1	balde	4	litros
								18	litros	1	lata
								1	litro	0.0353	pie ³
								1	galon	3.786	litros
								1	pie ³	28.3	litros
								1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	

Cemento Andino Tipo I

Método ACI 211.4

f'c	280	kg/cm ²
f'cr	364	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VITndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P 1cono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	498	0.159	1	498	1	42.50	1	1.47	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	183	0.37	15.66	15.66	3.40	1.21	0.38	5.67	15.66
Pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	1.96	2.90	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	625	0.242	1.25	638	1.28	54.47	1.00	1.88	4.21	1.31	19.71	1.00
Nanosilice	2.0%	0.020	0.02	9.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.02
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	4.98	kg									
1.50	N I E M	7.47	kg									
2.00	T T L	9.96	kg									

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	498	kg	b/bc=	0.61	kg	CORRECCIONES		V.Cono Abrams	0.005	m ³	
Slump	Dnmax			f'cr	con		Dnmax	MF		Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	638.01	kg			0.0021
5	H2O	H2O=	188.33	364	a/c	a/c=	2.8	2.87	3	H2O	183.41	lt			
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6						

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f'c	280	kg/cm ²
f'cr	364	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Beco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
c	498	0.159	1	498	1	42.50	1	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	184	0.37	15.67	15.67	1.21	0.38	5.67	15.67
pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	1.96	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	599	0.232	1.20	612	1.23	52.22	0.96	4.04	1.26	18.89	0.96
Nanosilice	3.0%	0.030	0.03	14.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.03
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A X C	0.00	kg								
1.00	A D I E	4.98	kg								
1.50	N I E M	7.47	kg								
2.00	T T L .	9.96	kg								
	Σ	1									

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	498	kg	b/b0=	0.61	kg	CORRECCIONES		V.Cono Abrams	0.005	m ³	
Slump	Dnmax			f'cr	con		Dmax	MF		Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	611.66	kg			0.0021
5	H2O	H2O=	188.33	364	a/c	a/c=	2.8	2.87	3	H2O	183.60	lt			
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6						

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	late
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



ANEXO N° 31 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.4 + 5% de Nanosilice

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f'c	280	kg/cm ²
f'cr	364	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Beca	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vtndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	498	0.159	1	498	1	42.50	1	1.47	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	184	0.37	15.71	15.71	3.41	1.21	0.38	5.68	15.71
pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	1.96	2.90	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	547	0.212	1.10	559	1.12	47.72	0.88	1.65	3.69	1.15	17.27	0.88
Nanosilice	5.0%	0.050	0.05	24.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.05
Aire Inc.	0.3%	0.003										

0.00	C A X C	0.00	kg
1.00	A D E	4.98	kg
1.50	N I E M	7.47	kg
2.00	T T L	9.96	kg

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	498	kg	b/bo=	0.61	kg	CORRECCIONES			
Slump	Dnmax			f'cr	con		Dmax	MF		Pdc	983.26	kg	
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	558.96	kg	
5	H2O	H2O=	188.33	364	a/c	a/c=	0.4	2.8	2.87	3	H2O	183.97	lt
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6				

V.Cono Abrams	0.005	m ³
	0.007	0.010
		0.0021

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	280	kg/cm ²
f_{cr}	364	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Boco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vlndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	498	0.159	1	498	1	42.50	1	1.47	3.28	1.03	15.38	1.00
H2O	188	0.188	0.38	184	0.37	15.74	15.74	3.42	1.22	0.38	5.69	15.74
Pd	979	0.361	1.97	983	1.98	83.94	1.96	2.90	6.49	2.02	30.37	1.96
Ar	496	0.192	1.00	506	1.02	43.22	0.80	1.49	3.34	1.04	15.64	0.80
Nanosilice	7.0%	0.070	0.07	34.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.07
Aire Inc.	0.3%	0.003										

0.00	C A X C	0.00	kg
1.00	A D E	4.98	kg
1.50	N I E M	7.47	kg
2.00	T T L	9.96	kg

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 498 kg		b/b0= 0.61 kg		CORRECCIONES		V.Cono Abrams		m ³	
Slump	Dnmax	f_{cr}	con	Dmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	506.26	kg			0.0021
5	H2O	364	a/c	2.8	2.87	H2O	184.35	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b0	0.6					

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg





ANEXO N° 33

DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.5

CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f'c	210	kg/cm ²
f'cr	294	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	D. UNITARIO	D. OBRA	D. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P loono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	183	0.47	20.14	3.40	1.21	0.38	5.66	20.14
Pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.90	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	676	0.262	1.75	691	1.79	75.88	2.04	4.56	1.42	21.34	1.40
Nanosilice	0.0%	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A D X C	0.00	kg								
1.00	A D I E	3.87	kg								
1.50	N I E M	5.80	kg								
2.00	T T L .	7.74	kg								

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 387 kg		b/bo= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		0.005 m ³	
Slump	Dnmax	f'cr	con	Dnmax	MF	Pdc	983.26 kg	0.007	0.010	0.0016	0.0021
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	690.71 kg				
5	H2O	294	a/c	2.8	2.87	H2O	183.31 lt				
7	197	350	0.4	0.62	b/b0						
					0.6						

1lbs	42.5	kg	1
1 m ³	35.3	pie ³	
1 balde	4	litros	
18 litros	1	lata	
1 litro	0.0353	pie ³	
1 galon	3.786	litros	
1 pie ³	28.3	litros	
1 Briq	6.28889	kg	



ANEXO N° 34 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.5 + 18 de Nanosilice

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	

Cemento Andino Tipo I

Método ACI 211.4

f'c	210	kg/cm²
f'cr	294	kg/cm²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	183	0.47	20.16	20.16	3.40	1.21	0.38	5.67	20.16
Pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.52	2.90	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	651	0.252	1.68	664	1.72	72.98	1.34	1.96	4.38	1.37	20.52	1.34
Nanosilice	1.0%	0.010	0.01	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.01
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.87	kg									
1.50	N I E M	5.80	kg									
2.00	T T L	7.74	kg									

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	387	kg	b/ba= 0.61	kg	CORRECCIONES					
Slump	Dnmax			f'cr	con		Dmax	MF	Pdc	983.26	kg	V.Cono Abrams	0.005	m³
4	184			150	0.71		3/4"	2.87	Arc	664.36	kg	0.007	0.010	0.0016
5	H2O	H2O=	188.33	294	a/c	a/c=	2.8	2.87	H2O	183.50	lt			0.0021
7	197			350	0.4		0.62	b/b0						

1bb	42.5	kg	1
1	m³	35.3	pie³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lata
1	litro	0.0353	pie³
1	galon	3.786	litros
1	pie³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	210	kg/cm ²
f_{cr}	294	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndabls (kg)	Vtndabls (pie ³)	Vol Briqueta	P loono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	184	0.47	20.17	3.40	1.21	0.38	5.67	20.17
Pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.90	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	638	0.247	1.65	651	1.68	71.53	1.92	4.30	1.34	20.11	1.32
Nanosilice	1.5%	0.015	0.015	5.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.02
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A X C	0.00	kg								
1.00	A D E	3.87	kg								
1.50	N I E M	5.80	kg								
2.00	T T L	7.74	kg								
Σ 1											

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	387	kg	b/bo=	0.61	kg	CORRECCIONES			
Slump	Dnmax			f_{cr}	con		Dmax	MF		Pdc	983.26	kg	
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	651.18	kg	
5	H2O	H2O=	188.33	294	a/c	a/c=	2.8	2.87	3	H2O	183.59	lt	
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6				
										V.Cono Abrams	0.005	m ³	
											0.007	0.010	0.0016
													0.0021

1bls	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	leta
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	210	kg/cm ²
f_{cr}	294	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Beca	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vlndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	184	0.48	20.20	3.41	1.21	0.38	5.68	20.20
Pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.90	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	599	0.232	1.55	612	1.58	67.19	1.24	4.04	1.26	18.89	1.24
Nanosilice	3.0%	0.030	0.03	11.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.03
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A X C	0.00	kg								
1.00	A D E	3.87	kg								
1.50	N I E M	5.80	kg								
2.00	T T L	7.74	kg								

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 387 kg		b/b0= 0.61 kg		CORRECCIONES		V.Cono Abrams		m ³	
Slump	Dnmax	f_{cr}	con	Dmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	611.66	kg			0.0021
5	H2O	294	a/c	2.8	2.87	H2O	183.88	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b0	0.6					

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



ANEXO N° 38 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.5 + 5% de Nanosilice

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	210	kg/cm ²
f_{cr}	294	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Boco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gavera	
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	184	0.48	20.24	20.24	3.41	1.22	0.38	5.69	20.24
pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.52	2.90	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	547	0.212	1.41	559	1.44	61.40	1.13	1.65	3.69	1.15	17.27	1.13
Nanosilice	5.0%	0.050	0.05	19.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.05
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.87	kg									
1.50	N I E M	5.80	kg									
2.00	T T L	7.74	kg									

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 387 kg		b/bo= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams 0.005 m ³		0.0016	
Slump	Dnmax	f'cr	con	Dmax	MF	Pdc	983.26 kg	0.007	0.010	0.0021	
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	558.96 kg				
5	H2O	294	a/c	2.8	2.87	H2O	184.25 lt				
7	197	350	0.4	0.62	b/b0						
			a/c= 0.5	3	0.6						

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f _c	210	kg/cm ²
f _{cr}	294	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Beco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vtndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P loono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gavera
C	387	0.124	1	387	1	42.50	1.14	2.55	0.80	11.95	1.00
H2O	188	0.188	0.49	185	0.48	20.28	3.42	1.22	0.38	5.70	20.28
Pd	979	0.361	2.53	983	2.54	108.01	2.52	6.49	2.02	30.37	2.52
Ar	496	0.192	1.28	506	1.31	55.61	1.02	3.34	1.04	15.64	1.02
Nanosilice	7.0%	0.070	0.07	27.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.84	0.07
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A X C	0.00	kg								
1.00	A D E	3.87	kg								
1.50	N I E M	5.80	kg								
2.00	T T L	7.74	kg								
	Σ	1									

CALCULO H2O =		188	lit	C. CEMENTO=	387	kg	b/bo=	0.61	kg	CORRECCIONES		
Slump	Dnmax			f _{cr}	con		Dmax	MF		Pdc	983.26	kg
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	506.26	kg
5	H2O	H2O=	188.33	294	a/c	a/c=	2.8	2.87	3	H2O	184.63	lit
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6			

V.Cono Abrams	0.005	m ³
0.007	0.010	0.0016
		0.0021

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



ANEXO N° 40 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.6.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

$f'c$	175	kg/cm ²
$f'cr$	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndabls (kg)	VlTndabls (pie ³)	Vol Briqueta	P cono (kg)	P briqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	0.54	183	0.53	22.39	3.40	1.21	0.38	5.67	22.39	
Pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	676	0.262	1.94	691	1.98	84.33	1.55	2.04	4.56	1.42	21.34	1.55
Nanosilice	0.0%	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.48	kg									
1.50	N I E M	5.22	kg									
2.00	T T L .	6.96	kg									
Σ 1												

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 348 kg		b/b0= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		m ³	
								0.007		0.010	
Slump	Dnmax	$f'cr$	con	Dnmax	MF	Pdc	983.26	kg			0.0021
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	690.71	kg			
5	H2O	259	a/c	2.8	2.87	H2O	183.41	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b0						
					0.6						

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	leta
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



ANEXO N° 41 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.6 + 1% de Nanosilice.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	175	kg/cm ²
f_{cr}	259	kg/cm ²
Slump	5	"

	D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	Vtndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
c	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	0.54	184	0.53	22.42	22.42	3.40	1.21	0.38	5.67	22.42
Pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	651	0.252	1.87	664	1.91	81.11	1.49	1.96	4.38	1.37	20.52	1.49
Nanosilice	1.0%	0.010	0.01	3.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.01
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A D X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.48	kg									
1.50	N I E M	5.22	kg									
2.00	T T L	6.96	kg									

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	348	kg	b/bo= 0.61	kg	CORRECCIONES		V. Cono Abrams	0.005	m ³
Slump	Dnmax			f'cr	con		Dnmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010
4	184			150	0.71		3/4"	2.87	Arc	664.36	kg		
5	H2O	H2O= 188.33		259	a/c	a/c= 0.5	2.8	2.87	3	H2O	183.60	lt	
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6				0.0021

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg





ANEXO N° 42 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.6 + 1.5% de Nanosilice.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

$f'c$	175	kg/cm ²
$f'cr$	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndable (kg)	VlTndable (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
c	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	0.54	184	0.53	22.43	22.43	3.40	1.21	0.38	5.67	22.43
pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	638	0.247	1.83	651	1.87	79.51	1.46	1.92	4.30	1.34	20.11	1.46
Nanosilice	1.5%	0.015	0.015	5.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.02
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A D X C	0.00	kg									
1.00	A D N I E	3.48	kg									
1.50	T T E M	5.22	kg									
2.00	L L	6.96	kg									

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 348 kg		b/bo= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		
Slump	Dnmax	$f'cr$	con	Dnmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.005	m ³
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	651.18	kg	0.010	0.0016
5	H2O	259	a/c	2.8	2.87	H2O	183.69	lt	0.007	0.0021
7	197	350	0.4	0.62	b/b0					

1bls	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	175	kg/cm ²
f'_{cr}	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	D. UNITARIO	D. OBRA	D. UNITARIO	D _T ndable (kg)	V _T ndable (pie ³)	Vol Briqueta	D cono (kg)	D lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H ₂ O	188	0.188	0.54	184	0.53	22.44	22.44	3.41	1.21	0.38	5.68	22.44
pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	625	0.242	1.79	638	1.83	77.90	1.43	1.88	4.21	1.31	19.71	1.43
Nanosilice	2.0%	0.020	0.02	6.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.02
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.48	kg									
1.50	N I E M	5.22	kg									
2.00	T T L	6.96	kg									

CALCULO H ₂ O = 188 lt		C. CEMENTO= 348 kg		b/b ₀ = 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		m ³	
Slump	Dnmax	f'_{cr}	con	Dmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	638.01	kg			0.0021
5	H ₂ O	259	a/c	2.8	2.87	H ₂ O	183.78	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b ₀	0.6					

1bl	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	175	kg/cm ²
f_{cr}	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	P lcono (kg)	P lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera
C	348	0.111	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	184	0.53	22.46	22.46	3.41	1.21	0.38	5.68	22.46
Pd	979	0.361	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	599	0.232	612	1.76	74.68	1.38	1.80	4.04	1.26	18.89	1.38
Nanosilice	3.0%	0.030	10.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.32	0.03
Aire Inc.	0.3%	0.003									
0.00	C A D X C	0.00	kg								
1.00	N I E	3.48	kg								
1.50	T I E M	5.22	kg								
2.00	L .	6.96	kg								
Σ		1									

CALCULO H2O =		188	lt	C. CEMENTO=	348	kg	b/b0=	0.61	kg	CORRECCIONES		V.Cono Abrams	0.005	m ³	
Slump	Dnmax			f_{cr}	con		Dnmax	MF		Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184			150	0.71		3/4"	2.87		Arc	611.66	kg			0.0021
5	H2O	H2O=	188.33	259	a/c	a/c=	0.5	2.8	2.87	H2O	183.97	lt			
7	197			350	0.4		0.62	b/b0	0.6						

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg





ANEXO N° 45 DISEÑO DE MEZCLA RELACIÓN A/C = 0.6 + 5% de Nanosilice.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f_c	175	kg/cm ²
f_{cr}	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Beco	V=1.00m ³	P. UNITARIO	D. OBRA	P. UNITARIO	Ptnda1bls (kg)	V1nda1bls (pie ³)	Vol Briqueta	P 1cono (kg)	P 1briqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	0.54	184	0.53	22.51	22.51	3.42	1.22	0.38	5.69	22.51
Pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	547	0.212	1.57	559	1.61	68.25	1.26	1.65	3.69	1.15	17.27	1.26
Nanosilice	5.0%	0.050	0.05	17.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.05
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X C	0.00	kg									
1.00	A D E	3.48	kg									
1.50	N I E M	5.22	kg									
2.00	T T L	6.96	kg									

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 348 kg		b/b0= 0.61 kg		CORRECCIONES		V.Cono Abrams		0.005 m ³	
Slump	Dnmax	f_{cr}	con	Dmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	558.96	kg			0.0021
5	H2O	259	a/c	2.8	2.87	H2O	184.35	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b0						
			a/c= 0.5								

1bts	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litros	1	lata
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg





ANEXO N° 46 DISEÑO DE MEZCLA RELACION A/C = 0.6 + 7% de Nanosilice.

CARACTERISTICAS DEL AGREGADO

Diseño de Mezcla Método ACI

	PIEDRA	ARENA	CEMENTO
Pe	2.71	2.58	3.13
%Ab	0.54	1.40	
%w	0.45	2.13	
PUS	1512	1916	
PUC	1598	2008	
Dnmax	3/4"		
MF	6.75	2.87	
Cemento Andino Tipo I			

Método ACI 211.4

f'c	175	kg/cm ²
f'cr	259	kg/cm ²
Slump	5	"

D. Seco	V=1.00m ³	D. UNITARIO	D. OBRA	D. UNITARIO	Ptndaibls (kg)	VlTndaibls (pie ³)	Vol Briqueta	D loono (kg)	D lbriqueta (kg)	par 15 Brik (kg)	1 gabera	
C	348	0.111	1	348	1	42.50	1	1.03	2.30	0.72	10.75	1.00
H2O	188	0.188	0.54	185	0.53	22.55	22.55	3.42	1.22	0.38	5.71	22.55
pd	979	0.361	2.81	983	2.82	120.05	2.80	2.90	6.49	2.02	30.37	2.80
Ar	496	0.192	1.42	506	1.45	61.81	1.14	1.49	3.34	1.04	15.64	1.14
Nanosilice	7.0%	0.070	0.07	24.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.07
Aire Inc.	0.3%	0.003										
0.00	C A X	0.00	kg									
1.00	A D E	3.48	kg									
1.50	N I E	5.22	kg									
2.00	T T L	6.96	kg									

CALCULO H2O = 188 lt		C. CEMENTO= 348 kg		b/bc= 0.61 kg		CORRECCIONES		V. Cono Abrams		m ³	
Slump	Dnmax	f'cr	con	Dnmax	MF	Pdc	983.26	kg	0.007	0.010	0.0016
4	184	150	0.71	3/4"	2.87	Arc	506.26	kg			0.0021
5	H2O	259	a/c	2.8	2.87	H2O	184.73	lt			
7	197	350	0.4	0.62	b/b0	0.6					

1bbs	42.5	kg	1
1	m ³	35.3	pie ³
1	balde	4	litros
18	litos	1	lete
1	litro	0.0353	pie ³
1	galon	3.786	litros
1	pie ³	28.3	litros
1	Briq	6.28889	kg



ANEXO 47: RESULTADOS ENSAYO SLUMP

TIPO DE CONCRETO: CONCRETO PATRON DE RELACIÓN A/C = 0.4



F'c =	280 kg/cm ²
FECHA:	04/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
09:00:00 a.m.	Patrón de F'c = 280	5"	0	Igual
10:00:00 a.m.	F'c = 280 + 1%	5 3/4"	15	Mayor al Patrón
11:00:00 p.m.	F'c = 280 + 1.5%	6 1/2"	30	Mayor al Patrón
12:00:00 p.m.	F'c = 280 + 2%	7 1/4"	45	Mayor al Patrón
01:00:00 p.m.	F'c = 280 + 3%	4 1/4"	15	Menor al Patrón
02:00:00 p.m.	F'c = 280 + 5%	3 3/4"	25	Menor al Patrón
03:00:00 p.m.	F'c = 280 + 7%	3"	40	Menor al Patrón

TIPO DE CONCRETO: CONCRETO PATRON DE RELACIÓN A/C = 0.5

F'c =	210 kg/cm ²
FECHA:	05/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
09:00:00 a.m.	Patrón de F'c = 210	5"	0	Igual
10:00:00 a.m.	F'c = 210 + 1%	6 1/4"	25	Mayor al Patrón
11:00:00 a.m.	F'c = 210 + 1.5%	7 1/2"	50	Mayor al Patrón
12:00:00 p.m.	F'c = 210 + 2%	8 3/4"	75	Mayor al Patrón
01:00:00 p.m.	F'c = 210 + 3%	4"	20	Menor al Patrón
02:00:00 p.m.	F'c = 210 + 5%	3 1/2"	30	Menor al Patrón
03:00:00 p.m.	F'c = 210 + 7%	3"	40	Menor al Patrón

TIPO DE CONCRETO: CONCRETO PATRON DE RELACIÓN A/C = 0.6

F'c =	175 kg/cm ²
FECHA:	06/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6				
HORA	DISEÑO DE MEZCLA	SLUMP	% VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN	OBSERVACIÓN
09:00:00 a.m.	Patrón de F'c = 175	5"	0	Igual
10:00:00 a.m.	F'c = 175 + 1%	6 1/2"	30	Mayor al Patrón
11:00:00 a.m.	F'c = 175 + 1.5%	7 3/4"	55	Mayor al Patrón
12:00:00 p.m.	F'c = 175 + 2%	8 1/2"	70	Mayor al Patrón
01:00:00 p.m.	F'c = 175 + 3%	4 1/2"	10	Menor al Patrón
02:00:00 p.m.	F'c = 175 + 5%	3 3/4"	25	Menor al Patrón
03:00:00 p.m.	F'c = 175 + 7%	3"	40	Menor al Patrón

ANEXO 48: RESULTADOS ENSAYO DE CAJA EN L



f_c	280 kg/cm ²
Fecha	04/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION A/C = 0.4							
ADICION DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACION
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.34	10.66	16.10	192	144	0.75
1%	14	4.51	9.02	13.53	181	146	0.81
1.5%	14	3.83	7.64	11.47	170	147	0.86
2%	14	3.13	6.26	9.35	162	150	0.93
3%	14	7.45	14.35	21.84	198	138	0.70
5%	14	9.36	18.74	28.09	204	129	0.63
7%	14	12.65	24.97	38.28	215	125	0.58

f_c	210 kg/cm ²
Fecha	05/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION A/C = 0.5							
ADICION DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACION
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.23	10.46	15.67	192	143	0.77
1%	14	4.48	8.94	13.45	184	147	0.80
1.5%	14	3.66	7.32	10.98	173	148	0.85
2%	14	2.96	5.92	8.86	160	150	0.94
3%	14	8.14	16.25	24.32	197	136	0.69
5%	14	10.02	20.05	30.15	206	126	0.61
7%	14	13.54	27.17	39.74	214	118	0.55

f_c	175 kg/cm ²
Fecha	06/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACION A/C = 0.6							
ADICION DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	TIEMPO A 200 mm	TIEMPO A 400 mm	TIEMPO A 600 mm	ALTURA (H1)	ALTURA (H2)	RELACION
%	Lts.	Seg.	Seg.	Seg.	Mm	Mm	H2/H1
0%	14	5.13	10.22	15.35	194	149	0.77
1%	14	4.83	9.64	14.46	186	150	0.81
1.5%	14	3.52	7.03	10.52	176	147	0.84
2%	14	2.82	5.65	8.42	161	148	0.92
3%	14	8.62	17.34	25.87	196	134	0.68
5%	14	11.54	23.06	34.62	208	122	0.59
7%	14	14.05	28.13	42.16	221	113	0.51

ANEXO 49: RESULTADOS ENSAYO DE EMBUDO EN V



f'c	280 kg/cm ²
Fecha	04/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	19.43
1%	12	0	15.56
1.5%	12	0	11.23
2%	12	0	7.05
3%	12	0	28.58
5%	12	0	36.83
7%	12	0	43.82

f'c	210 kg/cm ²
Fecha	05/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	18.86
1%	12	0	14.53
1.5%	12	0	10.25
2%	12	0	6.92
3%	12	0	27.52
5%	12	0	35.82
7%	12	0	42.73

f'c	175 kg/cm ²
Fecha	06/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO	VOLUMEN INICIAL	VOLUMEN FINAL	TIEMPO
(%)	Lts.	Lts.	Seg
0%	12	0	17.68
1%	12	0	13.47
1.5%	12	0	9.52
2%	12	0	5.97
3%	12	0	26.42
5%	12	0	35.83
7%	12	0	43.26

ANEXO 50: RESULTADOS ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



f_c	280 kg/cm ²
Fecha	04/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.4			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO
(%)	Mm	mm	Seg
0%	300	600	7.94
1%	300	655	6.57
1.5%	300	737	5.11
2%	300	825	4.02
3%	300	550	13.34
5%	300	520	19.51
7%	300	505	25.43

f_c	210 kg/cm ²
Fecha	05/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.5			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO
(%)	Mm	Mm	Seg
0%	300	655	7.74
1%	300	695	6.38
1.5%	300	760	5.26
2%	300	838	4.09
3%	300	600	13.45
5%	300	575	18.25
7%	300	525	26.62

f_c	175 kg/cm ²
Fecha	05/04/2018

DISEÑO DE MEZCLA CON RELACIÓN A/C = 0.6			
ADICIÓN DE ADITIVO	DIAMETRO INICIAL	DIAMETRO FINAL	TIEMPO
(%)	Mm	Mm	Seg
0%	300	708	7.56
1%	300	745	6.09
1.5%	300	806	5.05
2%	300	849	3.98
3%	300	600	13.82
5%	300	565	19.38
7%	300	505	25.42

ANEXO 51 :	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
-------------------	------------------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'c	280	kg/cm²

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	57.35	57.62	58.73	57.90	5/04/2018
3 DÍAS	115.34	112.83	111.15	113.11	7/04/2018
7 DÍAS	175.83	177.59	177.23	176.88	11/04/2018
14 DÍAS	238.34	235.78	239.26	237.79	18/04/2018
28 DÍAS	285.19	273.93	285.86	281.66	2/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1% DE ADITIVO
Dosificación	308 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	194.27	198.53	195.36	196.05	5/04/2018
3 DÍAS	268.49	275.83	270.31	271.54	7/04/2018
7 DÍAS	375.46	378.42	369.27	374.38	11/04/2018
14 DÍAS	452.83	466.29	453.76	457.63	18/04/2018
28 DÍAS	502.67	508.39	503.92	504.99	2/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1.5% DE ADITIVO
Dosificación	461 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	208.73	210.4	206.37	208.50	5/04/2018
3 DÍAS	323.87	324.46	324.54	324.29	7/04/2018
7 DÍAS	405.83	402.78	407.16	405.26	11/04/2018
14 DÍAS	491.45	491.35	492.46	491.75	18/04/2018
28 DÍAS	558.67	558.25	555.47	557.46	2/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 2% DE ADITIVO
Dosificación	615 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	221.63	219.56	228.42	223.20	5/04/2018
3 DÍAS	345.92	341.57	356.36	347.95	7/04/2018
7 DÍAS	442.78	447.28	429.54	439.87	11/04/2018
14 DÍAS	528.45	514.85	522.34	521.88	18/04/2018
28 DÍAS	593.56	598.24	593.17	594.99	2/05/2018



ANEXO 51 :

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'c	280	kg/cm ²

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 3% DE ADITIVO	
Dosificación	923 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	168.62	152.34	147.54	156.17	5/04/2018
3 DÍAS	235.83	232.34	228.53	232.23	7/04/2018
7 DÍAS	332.53	326.42	342.45	333.80	11/04/2018
14 DÍAS	415.93	403.84	402.74	407.50	18/04/2018
28 DÍAS	444.92	453.73	451.23	449.96	2/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 5% DE ADITIVO	
Dosificación	1538 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	118.34	109.37	121.65	116.45	5/04/2018
3 DÍAS	167.23	174.67	172.34	171.41	7/04/2018
7 DÍAS	272.34	264.83	258.63	265.27	11/04/2018
14 DÍAS	357.38	365.43	344.53	355.78	18/04/2018
28 DÍAS	382.43	379.43	383.86	381.91	2/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 7% DE ADITIVO	
Dosificación	2153 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	83.56	80.12	79.52	81.07	5/04/2018
3 DÍAS	136.87	139.43	138.71	138.34	7/04/2018
7 DÍAS	214.36	203.65	219.62	212.54	11/04/2018
14 DÍAS	287.45	289.47	282.45	286.46	18/04/2018
28 DÍAS	314.67	326.83	334.28	325.26	2/05/2018



ANEXO 52:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
-----------	-----------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'c	210	kg/cm ²

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	45.27	47.92	49.35	47.51	6/04/2018
3 DÍAS	95.23	97.83	89.56	94.21	8/04/2018
7 DÍAS	134.28	142.67	137.53	138.16	12/04/2018
14 DÍAS	192.83	189.52	196.43	192.93	19/04/2018
28 DÍAS	209.63	210.56	208.46	209.55	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1% DE ADITIVO
Dosificación	247 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	168.49	168.93	167.47	168.30	6/04/2018
3 DÍAS	249.35	258.15	255.15	254.22	8/04/2018
7 DÍAS	323.78	319.29	320.76	321.28	12/04/2018
14 DÍAS	405.82	401.73	398.25	401.93	19/04/2018
28 DÍAS	456.27	451.09	448.29	451.88	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1.5% DE ADITIVO
Dosificación	370 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	172.59	178.19	170.43	173.74	6/04/2018
3 DÍAS	292.78	296.36	295.93	295.02	8/04/2018
7 DÍAS	372.68	382.35	370.1	375.04	12/04/2018
14 DÍAS	452.34	467.24	455.65	458.41	19/04/2018
28 DÍAS	496.23	503.64	495.21	498.36	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 2% DE ADITIVO
Dosificación	493 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	154.52	147.83	145.83	149.39	6/04/2018
3 DÍAS	218.36	218.34	209.56	215.42	8/04/2018
7 DÍAS	286.34	298.73	305.81	296.96	12/04/2018
14 DÍAS	368.17	376.82	372.42	372.47	19/04/2018
28 DÍAS	420.34	416.87	407.28	414.83	3/05/2018



ANEXO 52 :	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
-------------------	------------------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'c	210	kg/cm2

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 3% DE ADITIVO
Dosificación	740 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	120.76	118.83	127.84	122.48	6/04/2018
3 DÍAS	188.27	193.38	189.26	190.30	8/04/2018
7 DÍAS	268.23	264.15	271.16	267.85	12/04/2018
14 DÍAS	334.48	333.93	340.45	336.29	19/04/2018
28 DÍAS	397.28	382.38	379.45	386.37	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 5% DE ADITIVO
Dosificación	1233 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	90.52	97.34	92.67	93.51	6/04/2018
3 DÍAS	153.47	158.23	149.56	153.75	8/04/2018
7 DÍAS	238.29	237.34	239.43	238.35	12/04/2018
14 DÍAS	304.53	305.52	292.84	300.96	19/04/2018
28 DÍAS	343.34	348.35	355.45	349.05	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 7% DE ADITIVO
Dosificación	1726 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	65.67	61.73	68.93	65.44	6/04/2018
3 DÍAS	130.28	122.63	129.14	127.35	8/04/2018
7 DÍAS	188.58	189.47	183.73	187.26	12/04/2018
14 DÍAS	262.63	255.72	248.26	255.54	19/04/2018
28 DÍAS	315.73	308.83	312.37	312.31	3/05/2018



ANEXO 53:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
-----------	-----------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
FC	210	kg/cm ²

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	45.27	47.92	49.35	47.51	6/04/2018
3 DÍAS	95.23	97.83	89.56	94.21	8/04/2018
7 DÍAS	134.28	142.67	137.53	138.16	12/04/2018
14 DÍAS	192.83	189.52	196.43	192.93	19/04/2018
28 DÍAS	209.63	210.56	208.46	209.55	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1% DE ADITIVO
Dosificación	247 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	168.49	168.93	167.47	168.30	6/04/2018
3 DÍAS	249.35	258.15	255.15	254.22	8/04/2018
7 DÍAS	323.78	319.29	320.76	321.28	12/04/2018
14 DÍAS	405.82	401.73	398.25	401.93	19/04/2018
28 DÍAS	456.27	451.09	448.29	451.88	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1.5% DE ADITIVO
Dosificación	370 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	172.59	178.19	170.43	173.74	6/04/2018
3 DÍAS	292.78	296.36	295.93	295.02	8/04/2018
7 DÍAS	372.68	382.35	370.1	375.04	12/04/2018
14 DÍAS	452.34	467.24	455.65	458.41	19/04/2018
28 DÍAS	496.23	503.64	495.21	498.36	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 2% DE ADITIVO
Dosificación	493 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	154.52	147.83	145.83	149.39	6/04/2018
3 DÍAS	218.36	218.34	209.56	215.42	8/04/2018
7 DÍAS	286.34	298.73	305.81	296.96	12/04/2018
14 DÍAS	368.17	376.82	372.42	372.47	19/04/2018
28 DÍAS	420.34	416.87	407.28	414.83	3/05/2018



ANEXO 52 :	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
------------	-----------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'c	210	kg/cm ²

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 3% DE ADITIVO	
Dosificación	740 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	120.76	118.83	127.84	122.48	6/04/2018
3 DÍAS	188.27	193.38	189.26	190.30	8/04/2018
7 DÍAS	268.23	264.15	271.16	267.85	12/04/2018
14 DÍAS	334.48	333.93	340.45	336.29	19/04/2018
28 DÍAS	397.28	382.38	379.45	386.37	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 5% DE ADITIVO	
Dosificación	1233 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	90.52	97.34	92.67	93.51	6/04/2018
3 DÍAS	153.47	158.23	149.56	153.75	8/04/2018
7 DÍAS	238.29	237.34	239.43	238.35	12/04/2018
14 DÍAS	304.53	305.52	292.84	300.96	19/04/2018
28 DÍAS	343.34	348.35	355.45	349.05	3/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 7% DE ADITIVO	
Dosificación	1726 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	65.67	61.73	68.93	65.44	6/04/2018
3 DÍAS	130.28	122.63	129.14	127.35	8/04/2018
7 DÍAS	188.58	189.47	183.73	187.26	12/04/2018
14 DÍAS	262.63	255.72	248.26	255.54	19/04/2018
28 DÍAS	285.73	288.83	282.37	285.64	3/05/2018



ANEXO 53:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
------------------	------------------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F C	175	kg/cm²

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	37.25	32.61	40.52	36.79	7/04/2018
3 DÍAS	75.28	77.18	70.35	74.27	9/04/2018
7 DÍAS	112.37	100.67	118.24	110.43	13/04/2018
14 DÍAS	162.45	159.83	159.25	160.51	20/04/2018
28 DÍAS	173.82	177.93	172.36	174.70	4/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1% DE ADITIVO
Dosificación	206 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	151.74	164.93	138.29	151.65	7/04/2018
3 DÍAS	225.83	240.19	221.47	229.16	9/04/2018
7 DÍAS	279.61	288.59	286.41	284.87	13/04/2018
14 DÍAS	350.85	344.28	337.36	344.16	20/04/2018
28 DÍAS	387.27	387.19	391.83	388.76	4/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 1.5% DE ADITIVO
Dosificación	308 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	138.42	130.21	146.87	138.50	7/04/2018
3 DÍAS	224.72	205.73	209.83	213.43	9/04/2018
7 DÍAS	264.81	277.93	261.73	268.16	13/04/2018
14 DÍAS	301.68	330.98	324.64	319.10	20/04/2018
28 DÍAS	342.58	375.92	355.73	358.08	4/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 2% DE ADITIVO
Dosificación	411 ml

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	120.37	132.04	119.83	124.08	7/04/2018
3 DÍAS	183.62	172.82	179.45	178.63	9/04/2018
7 DÍAS	249.82	237.47	259.18	248.82	13/04/2018
14 DÍAS	299.78	301.93	305.72	302.48	20/04/2018
28 DÍAS	346.89	328.62	335.87	337.13	4/05/2018



ANEXO 53 :	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
------------	-----------------------------

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRÓN	
F'C	175	kg/cm ²

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 3% DE ADITIVO	
Dosificación	617 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	102.34	108.61	109.52	106.82	7/04/2018
3 DÍAS	142.84	147.18	140.35	143.46	9/04/2018
7 DÍAS	226.28	220.67	228.24	225.06	13/04/2018
14 DÍAS	282.38	285.83	282.25	283.49	20/04/2018
28 DÍAS	302.83	307.93	305.83	305.53	4/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 5% DE ADITIVO	
Dosificación	1028 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	80.25	82.04	81.83	81.37	7/04/2018
3 DÍAS	112.75	118.37	117.32	116.15	9/04/2018
7 DÍAS	178.83	181.28	173.73	177.95	13/04/2018
14 DÍAS	255.73	251.93	246.37	251.34	20/04/2018
28 DÍAS	275.93	278.94	277.25	277.37	4/05/2018

Tipo de Concreto	CONCRETO PATRON + 7% DE ADITIVO	
Dosificación	1439 ml	

DÍAS	PROBETA 1	PROBETA 2	PROBETA 3	PROMEDIO	FECHA
1 DÍA	56.84	62.54	51.63	57.00	7/04/2018
3 DÍAS	88.37	92.83	95.82	92.34	9/04/2018
7 DÍAS	148.37	144.28	140.12	144.26	13/04/2018
14 DÍAS	212.42	211.47	217.28	213.72	20/04/2018
28 DÍAS	245.78	242.67	248.38	245.61	4/05/2018



ANEXO 54 : COMPARACION DE COSTOS POR M3 DE CONCRETO.

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	11.72	22.5	S/. 263.65
ARENA	m3.	0.76	65	S/. 49.47
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.38
				S/. 377.39

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 1% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	11.72	22.5	S/. 263.65
ARENA	m3.	0.74	65	S/. 47.78
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	4.98	5	S/. 24.90
				S/. 400.59

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 1.5% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	11.72	22.5	S/. 263.65
ARENA	m3.	0.72	65	S/. 46.87
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	7.47	5	S/. 37.35
				S/. 412.12

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ con 2% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	11.72	22.5	S/. 263.65
ARENA	m3.	0.71	65	S/. 46.02
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.17	2.1	S/. 0.36
ADITIVO	Kgs.	9.96	5	S/. 49.80
				S/. 423.73

ANEXO 54 : COMPARACIÓN DE COSTOS POR M3 DE CONCRETO.

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO f _c = 210 kg/cm ²				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	9.11	22.5	S/. 204.88
ARENA	m ³ .	0.86	63	S/. 53.58
PIEDRA	m ³ .	0.98	63	S/. 63.90
AGUA	m ³ .	0.18	2.1	S/. 0.38
				S/. 324.73

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO f _c = 210 kg/cm ² con 1% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	9.11	22.5	S/. 204.88
ARENA	m ³ .	0.83	63	S/. 53.82
PIEDRA	m ³ .	0.98	63	S/. 63.90
AGUA	m ³ .	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	3.87	5	S/. 19.35
				S/. 342.32

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO f _c = 210 kg/cm ² con 1.5% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	9.11	22.5	S/. 204.88
ARENA	m ³ .	0.82	63	S/. 52.98
PIEDRA	m ³ .	0.98	63	S/. 63.90
AGUA	m ³ .	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	5.80	5	S/. 29.00
				S/. 351.13

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO f _c = 210 kg/cm ² con 2% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	9.11	22.5	S/. 204.88
ARENA	m ³ .	0.80	63	S/. 52.13
PIEDRA	m ³ .	0.98	63	S/. 63.90
AGUA	m ³ .	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	7.74	5	S/. 38.70
				S/. 359.98

ANEXO 54 : COMPARACIÓN DE COSTOS POR M3 DE CONCRETO.

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	7.88	22.5	S/. 177.35
ARENA	m3.	0.90	65	S/. 58.44
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.38
				S/. 300.07

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 1% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	7.88	22.5	S/. 177.35
ARENA	m3.	0.87	65	S/. 56.68
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.38
ADITIVO	Kgs.	3.35	5	S/. 16.75
				S/. 315.06

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 1.5% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	7.88	22.5	S/. 177.35
ARENA	m3.	0.87	65	S/. 56.49
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	5.02	5	S/. 25.10
				S/. 323.21

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

COSTO POR m3 DE CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con 2% de Aditivo				
MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	7.88	22.5	S/. 177.35
ARENA	m3.	0.80	65	S/. 52.00
PIEDRA	m3.	0.98	65	S/. 63.90
AGUA	m3.	0.18	2.1	S/. 0.37
ADITIVO	Kgs.	6.00	5	S/. 30.00
				S/. 323.62

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 175 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	7.88	S/22.50	S/177.35
ARENA	m3.	0.80	S/65.00	S/52.00
PIEDRA	m3.	0.98	S/65.00	S/63.90
AGUA	m3.	0.18	S/2.10	S/0.37
ADITIVO	Kgs.	6.00	S/5.00	S/30.00
				S/323.62

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	9.11	S/22.50	S/204.88
ARENA	m3.	0.77	S/65.00	S/49.99
PIEDRA	m3.	0.98	S/65.00	S/63.96
AGUA	m3.	0.18	S/2.10	S/0.37
ADITIVO	Kgs.	5.00	S/5.00	S/25.00
				S/344.20

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	11.72	S/22.50	S/263.70
ARENA	m3.	0.69	S/65.00	S/44.85
PIEDRA	m3.	0.98	S/65.00	S/63.70
AGUA	m3.	0.18	S/2.10	S/0.38
ADITIVO	Kgs.	5.00	S/5.00	S/25.00
				S/397.63

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 375 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	10.50	S/22.50	S/236.25
ARENA	m3.	0.98	S/65.00	S/63.70
PIEDRA	m3.	1.04	S/65.00	S/67.60
AGUA	m3.	0.25	S/2.10	S/0.53
				S/368.08

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 490 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	12.62	S/22.50	S/283.95
ARENA	m3.	1.13	S/65.00	S/73.45
PIEDRA	m3.	1.21	S/65.00	S/78.65
AGUA	m3.	0.29	S/2.10	S/0.61
				S/436.66

FECHA:	4/04/2018
LUGAR:	HUANCAYO

MATERIAL POR m3 DE CONCRETO $f_c = 560 \text{ kg/cm}^2$

MATERIAL	UND.	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
CEMENTO	Bls.	14.82	S/22.50	S/333.45
ARENA	m3.	1.35	S/65.00	S/87.75
PIEDRA	m3.	1.48	S/65.00	S/96.20
AGUA	m3.	0.36	S/2.10	S/0.76
				S/518.16



GAIA Nanosilíce

Adicionante a cementos para concretos de altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05
 Revisión: 11
 Fecha de Revisión: Ago 26, 17
 Pagina 1 de 1

Descripción

GAIA Nanosilíce es el primer adiconante base nanosilíce generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible / Ulmen.

Pertenece a la línea GAIA NANOSILICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanoparticulas de silíce en nanoparticulas de cemento.

Aspectos Técnicos

Elimina el total de la silíce en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con GAIA Nanosilíce se obtiene concretos de alto rendimiento : 70 MPa a R28.

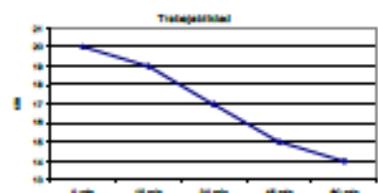
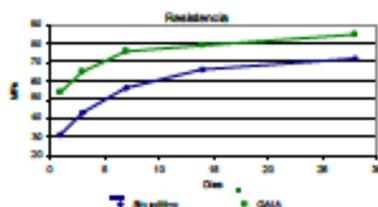
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262.

Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



H-70 con 1,5% de GAIA

Dosis

Se recomienda su uso en dosis de 0,5% a 2% en base al peso del cemento. Para dosis fuera de este rango, contacte al equipo técnico ULMEN.

Presentación

Bidón plástico de 230 Kg.
 Contenedor retornable de 1.000 kg

Propiedades Físicas

Aspecto : Líq. Levemente viscoso.
 Color : Blanco
 Densidad : 1,032 ± 0,004 g/mL
 pH : 5 ± 1
 Viscosidad : 14 ± 1 (s) (C.Ford Nº4)

Clasificación

Gaia Nanosilíce no tiene clasificación normada, sin embargo cumple como aditivo superplastificante tipo F, según NCh 2182-2010



HOJA DE SEGURIDAD

GAIA Nanosilice

Fecha de Emisión: Nov 22, 04
Revisión: 10
Fecha de Revisión: Ago 26, 16
Página 1 de 2

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto : **GAIA Nanosilice**
Codigo del producto : 760-04
Clasificación : Aditivo para Concretos
Vida útil : 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008
Proveedor : INDUSTRIAS ULMEN S.A.
E-mail : atencionalcliente@ulmen.cl
Pagina Web : www.ulmen.cl

Toda llamada de emergencia dentro y/o fuera del país será reembolsada previa revisión

ISO 9001:2008

BUREAU VERITAS
Certification



SECCION 2: COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Nombre químico : Mezcla de polímeros, ácidos carboxílicos y sílice en solución
Formula química : Confidencial
N° CAS : No aplica

SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta : Rombo NFPA
Clasificación de Salud (1) / Inflamabilidad (0)
Reactividad (0) / Riesgo Especial (0)
Riesgos : Ninguno
Peligros para la salud : Ninguno



SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos : Lavar con abundante agua durante 15 min. Referir al médico
Contacto con la piel : Lavar de inmediato con agua y jabón
Inhalación : Dar aire fresco si fuese necesario
Ingestión : Enjuagar boca con agua tibia. Referir al médico

SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

Agentes extintores : No inflamable ni combustible. Actuar según tipo de fuego existente
Protección especial : Ninguna
Proced. Especiales : No aplica
Riesgo explosión : No aplica

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia : Lavar con agua y trapear
Protección personal : Antiparras y guantes
Daños al ambiente : Ninguno, líquido inofensivo
Métodos de eliminación : Tratar como líquido inofensivo

SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación : Usar antiparras y guantes
Almacenamiento : Almacenar en lugar fresco y seco
Embalajes : Almacenar solo en envase original

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN ESPECIAL

Medidas por exposición : No se requiere
Protección respiratoria : No se requiere
Protección de los ojos : Antiparras
Guantes de protección : de PVC



HOJA DE SEGURIDAD
GAIA Nanosilice

Fecha de Emisión: Nov 22, 04
Revisión: 10
Fecha de Revisión: Ago 26, 16
Página: 2 de 2

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Estado físico	:	Líquido
Color	:	Blanco
Olor	:	Característico
PH	:	5 ± 1
Densidad a 20° C	:	1,032 ± 0,004 (g/mL)
Viscosidad (Copa Ford Nº4)	:	14 ± 1 (seg)
Sólidos ILQ 4	:	15 ± 1 %
Inflamación, Combustión, Explosión	:	No inflamable, No combustible, No explosivo
Solubilidad	:	Completamente soluble en agua

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	:	Estable bajo condiciones normales
Reactividad	:	Ninguna

SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Toxicidad aguda	:	Por ingestión, dosis > 4000 mg/kg
Efectos peligrosos para la salud	:	Ninguno

SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Inestabilidad	:	Estable
Persistencia/ degradabilidad	:	Los métodos para determinación de la biodegradabilidad no son aplicables a sustancias inorgánicas
Bio-acumulación	:	No aplica

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION FINAL

Método de eliminación del producto	:	Debe tratarse como líquido inofensivo
Eliminación de envases	:	Depositar en vertedero autorizado según legislación vigente

SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

NCh 2190	:	No aplica
Código NFPA	:	Salud: 1/ Inflam: 0/ React: 0/ Riesgo Especial: 0
Nº UN	:	No clasificado

SECCION 15: NORMAS VIGENTES

Normas internacionales aplicables	:	ASTMC-404
Normas nacionales aplicables	:	NCh 2182
Marca en etiqueta	:	Código NFPA

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

El formato de esta hoja de seguridad cumple con la NCh 2245 of 03.

La información contenida se entrega de buena fe y voluntariamente. ULMEN S.A. no se hace responsable por el buen o mal uso de esta información. Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, ULMEN S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. Las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.



Calidad que Construye

Hoja Técnica

CHEMA ENTRAMPAIRE

Aditivo incorporador de aire que evita fisuramiento por efecto hielo deshielo del concreto.

VERSION: 01
FECHA: 23/11/2014

DESCRIPCIÓN	CHEMA ENTRAMPAIRE es un aditivo formulado a base de agentes tensoactivos, que producen un entrapamiento uniforme de aire entre el 1 y 3% en el concreto, brindando propiedades de plasticidad y flexibilidad a la mezcla. Ideal para lugares donde la temperatura desciende a menos de 0°C. Es compatible con todos los tipos de concretos, mezclas cementosas y morteros. No contiene cloruros. Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C260.
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none">- Aumenta la durabilidad del concreto, debido al entrapamiento de burbujas de aire dentro del concreto.- Evita el fisuramiento del concreto por acción hielo y deshielo en zonas donde existen bajas temperaturas.- Mejora la trabajabilidad facilitando el colocado y bombeo del concreto.- Aumenta la resistencia química del concreto (ataques de sales y aguas agresivas).- Reduce la exudación del concreto.- Mejora las condiciones térmicas del concreto debido a sus conocidas propiedades como aislante térmico; haciéndole ideal para la construcción de viviendas, oficinas, hoteles, etc.- Es compatible con otros los aditivos.- Producto estable.
USOS	<ul style="list-style-type: none">- Concretos bombeados.- Concretos elaborados en zonas donde existe bajas temperaturas.- concretos que estarán expuestos a una gran radiación solar como losas, techos, estructuras de viviendas, edificios, pistas cubiertas de puentes, sin necesidad de juntas de dilatación.
DATOS TÉCNICOS	<ul style="list-style-type: none">- Apariencia : Líquido.- Color : Marrón.- Densidad : 3.80 Kg/gal ± 0.10- pH : 8.0 – 10.0- Olor : Característico- VOC : 0.0 g/L- Solubilidad : Agua
PREPARACIÓN	<ul style="list-style-type: none">- Añadir la dosis CHEMA ENTRAMPAIRE al agua de mezcla. Al usar un aditivo plastificante o retardador de fragua aumenta la acción del CHEMA ENTRAMPAIRE, por lo que se debe reducir la dosis. Las burbujas de aire aumentan el volumen del concreto, por lo que se debe disminuir el agregado fino y la dosis de agua.- Se deben preparar mezclas pequeñas para definir la dosis adecuada, esta puede variar por influencia de las características de los componentes del concreto.

ATENCIÓN AL CLIENTE:
(511) 336-8407

Página 1 de 2



Hoja Técnica

CHEMA ENTRAMPAIRE

Aditivo incorporador de aire que evita fisuramiento por efecto hielo deshielo del concreto.

VERSION: 01
FECHA: 23/11/2016

RENDIMIENTO	La dosis de CHEMA ENTRAMPAIRE es de 0.01% a 0.25% (4.25 m a 104 ml) del peso del cemento.
PRESENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none">- Envase de 1 gal.- Envase de 3 gal.- Envase de 55 gal.
ALMACENAMIENTO	1 año almacenado en su envase original, sellado en lugar fresco y bajo techo.
PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES	En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. Durante su manipulación no beber ni comer alimentos. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua. Si es ingerido, no provocar vómitos; procurar ayuda médica inmediata.

"La presente Edición anula y reemplaza la Versión N° 0 para todos los fines"

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.



Calidad que Construye

M.S.D.S. Hoja de Seguridad

CHEMA ENTRAMPAIRE

VERSION: 01
FECHA: 07/11/2016

SECCION I IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA EMPRESA

Nombre del producto	: ENTRAMPAIRE
Número de MSDS	: 70001026
Fabricante/distribuidor	: IMPORTADORA TECNICA INDUSTRIAL Y COMERCIAL S.A.
Dirección	: Av. Industrial 765
Ciudad-País	: Lima-Perú
Código postal	: Lima 1
Teléfono	: (511) 336-8407
Fax	: (511)336-8408
Teléfono de emergencias	: CETOX: 2732318 / 999012933
Fecha de elaboración	: 07/11/2016

SECCION II COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Descripción química: Solución acuosa a base de tensoactivos.

SECCION III IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Efectos adversos sobre la salud humana: Irrita los ojos y la piel.
Ver sección XI y XII

SECCION IV PRIMEROS AUXILIOS

Indicaciones generales:	En caso de duda, o cuando persistan los síntomas, pedir atención médica. Nunca dar a beber a una persona inconsciente. No provocar el vómito.
Inhalación:	Trasladar a la persona a un lugar fresco y bien ventilado. Pedir atención médica. En caso de asfixia proceder inmediatamente a la respiración artificial (RCP).
Contacto con la piel:	Lavar inmediatamente con abundante agua y jabón, despojarse de la ropa contaminada. Pedir atención médica.
Contacto con los ojos:	Lavar abundantemente con agua corriente durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos. Pedir atención médica.
Ingestión:	No inducir al vómito. Pedir atención médica inmediatamente.



M.S.D.S. Hoja de Seguridad
CHEMA ENTRAMPAIRE

VERSION: 01
FECHA: 07/11/2016

SECCION V	MEDIDAS CONTRA LOS INCENDIOS
Medios de Extinción:	Espuma Polvo Químico Seco Agua Pulverizada Dióxido de carbono
Medios de extinción que NO deben utilizarse:	No se conoce.
Riesgos especiales:	No aplicable
Equipo de protección:	Utilizar equipo de respiración autónomo.
Indicaciones adicionales:	Podrá emplearse agua pulverizada para enfriar recipientes expuestos a calor extremo. El producto no es inflamable.

SECCION VI	MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL
Precauciones individuales:	Procurar ventilación suficiente. Utilizar ropa y equipo de protección personal.
Protección del medioambiente:	Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües.
Métodos de limpieza:	Cortar la fuente del derrame. Confinar el derrame o absorber con tierra, arena u otro material inerte. Recoger el material en recipientes o en contenedores para residuos para su posterior eliminación de acuerdo con las normas vigentes.

SECCION VII	MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO
Manipulación:	Evitar el contacto con la piel y los ojos. Cuando no se utiliza el producto mantener el envase cerrado. Después de manipular el producto lavarse con agua y jabón.
Almacenamiento:	Almacenar en lugares frescos y bien ventilados, bajo techo. Mantener los recipientes secos y bien cerrados. Alejar de alimentos y bebidas. Proteger de las heladas.



Calidad que Construye

M.S.D.S. Hoja de Seguridad

CHEMA ENTRAMPAIRE

VERSION: 01
FECHA: 07/11/2016

SECCION VIII CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Medidas técnicas de protección: Asegurar una buena ventilación y renovación de aire del local.
No comer o beber durante la manipulación del producto.
Quitarse inmediatamente la ropa manchada o empapada.

Protección respiratoria: Usar máscara de respiración adecuada
Protección de las manos: Usar guantes protectores.
Protección de los ojos: Usar lentes protectores.
Protección corporal: Usar ropa de trabajo adecuada.

SECCION IX PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Apariencia : Líquido.
Olor : Característico
Color : Marrón
Punto de Ebullición : Aproximadamente 100°C
Presión de Vapor a 20°C : No disponible
Densidad : 3.80 kg/L ± 0.1
pH : 8.00 – 10.00
Solubilidad : En agua
VOC : 0 g/L

SECCION X ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad : Estable.
Condiciones que deben evitarse : No se conocen
Productos de descomposición peligrosos : Ninguno conocido si se maneja adecuadamente
No se producen reacciones peligrosas.
Polimerización espontánea : No polimeriza.

SECCION XI INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Efectos peligrosos para la salud:

En contacto con la piel: Pueden causar irritación por contacto prolongado con el producto.
En contacto con los ojos: Puede causar Irritación.
Inhalación: Puede causar Irritación.
Por ingestión: Puede causar perturbaciones en la salud.

SECCION XII INFORMACIONES ECOLÓGICAS

No permitir su paso alcantarillado o a cursos de agua o terrenos.

SECCION XIII CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION DE RESIDUOS

Los restos de producto, los desechos que derivan de la utilización y los envases vacíos deberán eliminarse de acuerdo a la legislación vigente.
Debe consultarse con los expertos en desechos y/o empresa autorizada de eliminación de residuos y a las autoridades responsables.

SECCION XIV INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Transporte terrestre
ADR/RID: mercancía no peligrosa

Transporte marítimo por barco
IMO/IMDG: mercancía no peligrosa

Transporte aéreo
IATA/ICAO: mercancía no peligrosa

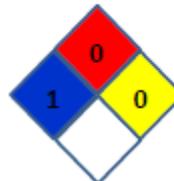
SECCION XV INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

No disponible

SECCION XVI OTRAS INFORMACIONES

Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos (SIMP/NFPA)

- 4 = Riesgo Extremo
- 3 = Riesgo Alto
- 2 = Riesgo Moderado
- 1 = Riesgo Mínimo
- 0 = Riesgo Insignificante



Esta información está basada única y exclusivamente en los datos proporcionados por los proveedores de los materiales usados, y no de la propia mezcla. No se extiende ninguna garantía, ni explícita ni implícita, concerniente a la exactitud de los datos o la adecuación del producto para el fin particular del usuario. El usuario debe aplicar su propio criterio para determinar si el producto es adecuado o no para sus fines.

La presente Edición anula y reemplaza la Versión N° 0 para todos los fines

METROTEC

INFORME DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MT - MP - 090 - 2017

Fecha de Emisión: 2017-09-13

1. SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CONTINENTAL S.A.C
DIRECCIÓN : Av. San Carlos N° 1980 Urb. San Antonio Huancayo -
Huancayo - JUNIN

2. EQUIPO / INSTRUMENTO : PRENSA DE CONCRETO

Marca : ELE INTERNATIONAL
Modelo : ADR-1500
N° de Serie : 1790-8-1938
Código de Identificación : NO INDICA
Alcance : 100000 kgf
Div. de Escala / Resolución : 10 kgf
Ubicación : LABORATORIO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO
Fecha del Servicio : 2017-09-05

3. DETALLE DEL MANTENIMIENTO REALIZADO:

- Desmontaje general del equipo
- Mantenimiento del sistema hidráulico, cambio de aceite
- Mantenimiento y ajuste de conductores eléctricos
- Limpieza de componentes electrónicos
- Limpieza externa del equipo
- Se le realizó el ajuste y verificación del equipo
- El equipo queda operativo

4. RECOMENDACIÓN:

- Se recomienda realizar mantenimientos periódicos
- Se recomienda realizar calibraciones después de cada mantenimiento.

5. TÉCNICO RESPONSABLE:

ANGEL JULCA MACHADO



METROLOGIA Y TÉCNICAS S.A.C.

Av. San Carlos N° 1980 Urb. San Antonio Huancayo - JUNIN - PERU
Tel: (51) 1340 0540 / 0511 411 011 / 011 411 272 / 011 411 445 262 / 0111 1868 272 / 1868 272
Email: info@metrologia-y-tecnicas.com / ventas@metrologia-y-tecnicas.com
WEB: www.metrologia-y-tecnicas.com