

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EFFECTOS EN EL TIEMPO DE FRAGUADO, TRABAJABILIDAD Y  
EXUDACIÓN DEL CONCRETO DEBIDO A ALTAS DOSIS DE  
ADITIVO RETARDANTE**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil**

**AUTORAS:**

Jemima Zasquia Mendoza Vera

Karly Eliana Pintado Roman

**ASESORES:**

**Laura Marina Navarro Alvarado**

**Julio Cesar Carhuamaca Huanri**

Lima, abril del 2024

### Informe de Similitud

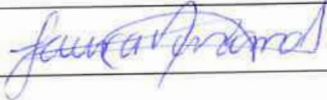
Yo, Laura Marina Navarro Alvarado, docente de la Facultad de Ingeniería, Sección de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

Efectos en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y exudación del concreto debido a altas dosis de aditivo retardante”, del/de la autor(a)/ de los(as) autores(as): Jemima Zasquia Mendoza Vera y Karly Eliana Pintado Roman.

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de **18.0%**. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 14/03/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 25 de abril de 2024

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Navarro Alvarado, Laura Marina Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2	
DNI: 18144134	Firma 
ORCID: 0000-0001-8460-8424	

## RESUMEN

De acuerdo con un estudio realizado por el capítulo peruano del *Lean Construction Institute*, se tiene que en nuestro medio el 64% del tiempo es destinado a tareas que no agregan valor. Como una respuesta a los desafíos de la industria de la construcción, se desarrollan diferentes métodos e iniciativas con el fin de mejorar los tiempos productivos y la eficiencia. Un claro ejemplo de ello es la inclusión de aditivos químicos en las mezclas de concreto.

El objetivo de la presente investigación es evaluar los efectos en las propiedades del concreto, como la trabajabilidad, exudación y el tiempo de fraguado al usar en diferentes dosis al aditivo retardante. Los ensayos se realizaron en 2 etapas del año para evaluar sus efectos ante el cambio de temperatura. La primera etapa se desarrolló en octubre del 2019 con una temperatura ambiente promedio de 19.5°C. Se realizó cuatro diseños de mezcla con diferente dosis de aditivo retardante para relaciones  $a/c=0.6$  y  $a/c=0.7$ . La segunda etapa se desarrolló en febrero del 2020 y se realizaron los mismos diseños de mezcla que en la primera etapa para la relación  $a/c=0.7$ .

Se observó que la exudación y tiempo de fraguado final poseen un comportamiento con tendencia exponencial y la resistencia a la compresión disminuye a medida que se incrementa la dosis del aditivo retardante. Además, se observa que entre la primera y la segunda etapa el tiempo de fraguado final disminuye considerablemente ante el incremento de la temperatura ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres y hermanos, quienes siempre mostraron su apoyo incondicional durante el desarrollo de la tesis. Son el motivo por el cual logramos superar todas las dificultades que se presentaron.

A nuestra asesora de tesis Laura Navarro, quien confió en nosotras para el desarrollo de esta investigación y nos guió durante el camino.

A las empresas P y S Concreto, Soquimic, Basf y Unicon quienes desinteresadamente aportaron con asesoría, equipos y materiales.

A Brigner, Carlos Tipian, Jean Carlos, Jefferson, Julio Carhuamaca, Rafael y amigos quienes nos apoyaron durante el desarrollo de los ensayos.

## TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 .....	1
1. INTRODUCCION.....	1
1.1 OBJETIVOS .....	2
1.1.1 Objetivos generales .....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.2 HIPÓTESIS.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. ESTADO DEL ARTE .....	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.1.1 Industria de la construcción.....	4
2.2 CASOS DE ESTUDIO.....	5
2.2.1 Problemáticas en obra de elementos verticales .....	5
2.2.2 Problemáticas en obra de elementos horizontales (losas).....	7
CAPÍTULO 3.....	8
3. MARCO TEÓRICO .....	8
3.1 DISEÑO DE MEZCLA.....	8
3.1.1 Cemento .....	8
3.1.2 Agregado grueso .....	9
3.1.3 Agregado fino.....	10
3.1.4 Agua .....	10
3.2 ADITIVOS.....	10
3.2.1 Aditivos superplastificantes.....	12
3.2.2 Aditivos retardantes.....	13
3.2.3 Efectos directos y colaterales del uso de aditivos.....	14
3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	16
3.3.1 Trabajabilidad (slump) .....	16
3.3.2 Tiempo de fraguado.....	17
3.3.3 Exudación.....	19
3.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	20
3.4.1 Resistencia a la compresión: .....	20

3.5 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE FRAGUADO.....	21
CAPÍTULO 4.....	22
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	22
4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES .....	22
4.1.1 Cemento .....	22
4.1.2 Agregados .....	24
4.1.3 Agua.....	29
4.1.4 Aditivo retardante.....	29
4.1.5 Aditivo superplastificante .....	29
4.2 CAMPAÑA EXPERIMENTAL .....	30
4.2.1 Diseños de mezcla.....	32
4.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	35
4.3.1 Ensayo de temperatura .....	35
4.3.2 Ensayo de slump .....	35
4.3.3 Ensayo de peso unitario.....	36
4.3.4 Ensayo de contenido de aire.....	37
4.3.5 Ensayo de exudación.....	38
4.3.6 Ensayo de tiempo de fraguado (ASTM C 403 - 2019).....	40
4.4 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	45
4.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C 39 - 2019).....	45
CAPÍTULO 5.....	46
5. PRESENTACION DE RESULTADOS.....	46
5.1 DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LA ETAPA 1 .....	46
5.2 DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LA ETAPA 2 .....	47
5.3 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 1 DE A/C = 0.6 .....	49
5.3.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1 .....	49
5.3.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2 .....	50
5.3.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3 .....	52
5.3.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4 .....	53
5.4 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 1 A/C = 0.7 .....	55
5.4.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1 .....	55
5.4.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2 .....	56
5.4.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3 .....	58
5.4.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4 .....	59

5.5 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 2 A/C = 0.7.....	61
5.5.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1 .....	61
5.5.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2 .....	63
5.5.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3 .....	64
5.5.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4 .....	66
5.6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXUDACIÓN DE LA ETAPA 1 .....	67
5.7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXUDACIÓN DE LA ETAPA 2 .....	68
5.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ETAPA 1 .....	68
5.8.1 Resistencia a la compresión de los ensayos con relación a/c = 0.6 .....	68
5.8.2 Resistencia a la compresión de los ensayos con relación a/c = 0.7 .....	69
5.9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ETAPA 2 .....	69
CAPITULO 6.....	70
6. RESUMEN DE LOS RESULTADOS .....	70
6.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS FINALES .....	70
6.1.1 Resumen de los resultados de la etapa 1 a/c=0.6.....	70
6.1.2 Resumen de los resultados de la etapa 1 a/c=0.7.....	71
6.1.3 Resumen de los resultados de la etapa 2 a/c=0.7.....	71
6.2 RESUMEN DE LOS RESULTADOS COMPLETOS .....	72
6.2.1 Resumen de los resultados completos de la etapa 1 a/c=0.6 .....	72
6.2.2 Resumen de los resultados completos de la etapa 1 a/c=0.7 .....	72
6.2.3 Resumen de los resultados completos de la etapa 2 a/c=0.7 .....	73
CAPITULO 7.....	74
7. EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	74
7.1 ENSAYOS DEL CONCRETO .....	74
7.1.1 Temperatura .....	74
7.1.2 Peso Unitario .....	76
7.1.3 Contenido de aire.....	77
7.1.4 Slump .....	79
7.1.5 Exudación.....	80
7.1.6 Ensayo del tiempo de fraguado inicial y final .....	82
7.1.7 Gráficos comparativos etapa 1 .....	85
7.1.8 Gráficos comparativos etapa 2 .....	88
CAPÍTULO 8.....	91
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91

8.1 CONCLUSIONES:.....	91
8.2 RECOMENDACIONES.....	93
CAPÍTULO 9.....	95
9. BIBLIOGRAFÍA.....	95





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Retardo de fraguado en muros .....	6
Figura 2. Superficie de concreto con baja resistencia .....	6
Figura 4. Daño de la superficie .....	7
Figura 3 Retardo de fraguado en losa.....	7
Figura 5: Efecto de la temperatura en el tiempo de fraguado del concreto .....	21
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino.....	25
Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso.....	27
Figura 8. Parábola de Fuller .....	28
Figura 9: Campaña experimental .....	31
Figura 10. Ensayo de temperatura del concreto .....	35
Figura 11. Ensayo de slump .....	36
Figura 12. Ensayo de peso unitario .....	37
Figura 13. Probetas cubiertas con papel film para evitar la evaporación .....	39
Figura 14. Extracción del agua de exudación mediante el uso de una pipeta.....	39
Figura 15. Penetrómetro de mortero.....	43
Figura 16. Agujas normalizadas para realizar el ensayo de penetración .....	44
Figura 17. Probeta después de la penetración de la primera aguja .....	44
Figura 18. Variación en el tiempo de fraguado del diseño de mezcla Patrón de $a/c = 0.6$ .....	50
Figura 19. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 de $a/c = 0.6$ .....	51
Figura 20. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 de $a/c = 0.6$ .....	53
Figura 21. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 4 de $a/c = 0.6$ .....	54
Figura 22. variación en el tiempo de fraguado de la mezcla 1 con $a/c = 0.7$ .....	56
Figura 23. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 con $a/c = 0.7$ .....	57
Figura 24. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con $a/c = 0.7$ .....	59
Figura 25. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con $a/c = 0.7$ .....	60
Figura 26. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 1 con $a/c = 0.7$ .....	62
Figura 27. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 con $a/c = 0.7$ .....	64
Figura 28. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con $a/c = 0.7$ .....	65
Figura 29. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 4 con $a/c = 0.7$ .....	67
Figura 30. Pérdida de trabajabilidad de mezclas de concreto a diferentes temperaturas.....	76
Figura 31. Contenido de aire promedio de las mezclas .....	78
Figura 32. Slump promedio de las mezclas .....	79

Figura 33. Exudación promedio de las mezclas .....	81
Figura 34 Tiempo de fraguado final promedio .....	83
Figura 35. Tiempo de fraguado final promedio .....	84
Figura 36. Porcentaje de aire vs exudación etapa 1 .....	85
Figura 37. Contenido de aire vs Peso unitario etapa 1 .....	86
Figura 38. Contenido de aire vs Resistencia a la compresión etapa 1 .....	87
Figura 39. Porcentaje de aire vs exudación etapa 2 .....	88
Figura 40. Contenido de aire vs resistencia a la compresión etapa 2 .....	89
Figura 41. Contenido de aire vs peso unitario de etapa 2.....	90



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas del cemento tipo I .....	23
Tabla 2. Características químicas de cemento tipo I .....	23
Tabla 3. Granulometría de agregado fino.....	25
Tabla 4. Características físicas del agregado fino .....	26
Tabla 5. Granulometría del agregado grueso .....	26
Tabla 6. Características físicas del agregado grueso .....	27
Tabla 7: Parábola de Fuller .....	28
Tabla 8. Diseño de mezcla 1 (mezcla Patrón) .....	33
Tabla 9. Diseños de mezcla para $a/c = 0.6$ .....	34
Tabla 10. Diseños de mezcla para $a/c = 0.7$ .....	34
Tabla 11. Datos de caracterización del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante .....	46
Tabla 12. Datos de caracterización del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	46
Tabla 13. Datos de caracterización del diseño de mezcla 3(DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante .....	47
Tabla 14. Datos de caracterización del diseño de mezcla 4(DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante .....	47
Tabla 15. Datos de caracterización del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante .....	47
Tabla 16. Datos de caracterización del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	48
Tabla 17. Datos de caracterización del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante .....	48
Tabla 18. Datos de caracterización del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante .....	48
Tabla 19. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante .....	49
Tabla 20. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante .....	49
Tabla 21. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 (DM2)- dosis máxima de aditivo retardante .....	50
Tabla 22. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	51
Tabla 23. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 dosis máxima de aditivo retardante.....	52

Tabla 24. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 dosis máxima de aditivo retardante.....	52
Tabla 25. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)-dosis media de aditivo retardante .....	53
Tabla 26. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4 (DM4)-dosis media de aditivo retardante .....	54
Tabla 27. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante.....	55
Tabla 28. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1(DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante.....	55
Tabla 29. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	56
Tabla 30. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	57
Tabla 31. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	58
Tabla 32. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	58
Tabla 33. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	59
Tabla 34. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4(DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	60
Tabla 35. Resumen de tiempo de fraguado inicial y final de la etapa 1 .....	61
Tabla 36. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante.....	61
Tabla 37. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante.....	62
Tabla 38. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante .....	63
Tabla 39. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante.....	63
Tabla 40. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	64
Tabla 41. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	65
Tabla 42. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	66
Tabla 43. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante.....	66
Tabla 44. Resumen de tiempo de fraguado inicial y final de la etapa 2 .....	67
Tabla 45. Volumen de exudación por unidad de superficie de las mezclas .....	67

Tabla 46. Volumen de exudación por unidad de superficie de las mezclas .....	68
Tabla 47. Resistencia a la compresión $a/c = 0.6$ .....	68
Tabla 48. Tabla de resistencia a la compresión $a/c = 0.7$ .....	69
Tabla 49. Tabla de resistencia a la compresión $a/c = 0.7$ .....	69
Tabla 50. Tabla resumen de los resultados de la etapa 1 $a/c=0.6$ .....	70
Tabla 51. Tabla resumen de los resultados de la etapa 1 $a/c=0.7$ .....	71
Tabla 52. Tabla resumen de los resultados de la etapa 2 $a/c=0.7$ .....	71
Tabla 53. Tabla completa de resultados de la etapa 1 $a/c=0.6$ .....	72
Tabla 54. Tabla completa de resultados de la etapa 1 $a/c=0.7$ .....	72
Tabla 55. Tabla completa de resultados de la etapa 2 $a/c=0.7$ .....	73
Tabla 56. Temperatura ambiente de la etapa 1 .....	74
Tabla 57. temperatura ambiente de la etapa 2 .....	74
Tabla 58. Temperatura de las mezclas de la etapa 1 .....	74
Tabla 59. Temperatura de las mezclas de la etapa 2 .....	75
Tabla 60. Peso unitario de las mezclas de la etapa 1 .....	76
Tabla 61. Peso unitario de las mezclas de la etapa 2.....	77
Tabla 62. Contenido de aire de la etapa 1 .....	77
Tabla 63. Contenido de aire de la etapa 2 .....	77
Tabla 64. Slump de las mezclas de la etapa 1 .....	79
Tabla 65. Slump de mezclas de la etapa 2.....	79
Tabla 66. Volumen de exudación por unidad de superficie de la etapa 1 .....	80
Tabla 67. Volumen de exudación por unidad de superficie de la etapa 2 .....	80
Tabla 68. Tiempo de fraguado inicial y final de las mezclas de la etapa 1 .....	82
Tabla 69. Tiempo de fraguado inicial y final de las mezclas de la etapa 2 .....	82

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCION

Las estadísticas de la Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM) indican que durante el mes de marzo del año 2023 se produjeron 894 mil toneladas de cemento y se realizó el despacho de 958 mil toneladas del mismo (ASOCEM, 2023). Siendo el cemento el material de construcción más usado a nivel mundial, impacta en gran medida en la productividad, cronograma y presupuesto de obra.

Unos de los principales consumidores de cemento y productores de concreto en nuestra industria son las empresas de premezclado. El objetivo de estas empresas es cumplir con los requerimientos de trabajabilidad, resistencia característica y entre otros que la Norma ASTM C94 exige según el tipo de acuerdo establecido con el cliente. Para ello, muchas veces es necesario el uso de diversos y diferentes recursos y tecnologías tales como los aditivos; sin embargo, el uso inadecuado de los mismos podría generar efectos negativos en algunas propiedades del concreto logrando así afectar el proceso constructivo.

Por esta razón, la presente investigación busca aportar con el análisis de los efectos que causa el uso en altas dosis del aditivo retardante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y exudación del concreto. Para ello, se realiza una comparación cuantitativa de las propiedades mencionadas respecto a una mezcla Patrón que cuenta con un diseño de mezcla convencional con aditivos en el rango medio recomendado por el fabricante.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivos generales**

El objetivo de esta tesis es analizar la influencia del uso en altas dosis de aditivo retardante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y exudación del concreto ante diferentes condiciones de temperatura ambiente.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el tiempo de fraguado inicial y final de mezclas de concreto con diferentes dosis de aditivo retardante y compararlas con una mezcla Patrón.
- Evaluar la exudación de mezclas de concreto con diferentes dosis de aditivo retardante y comparar esta propiedad con una mezcla Patrón.
- Evaluar la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con diferentes dosis de aditivo retardante.

## **1.2 HIPÓTESIS**

- El aditivo retardante en altas dosis genera retardo excesivo y descontrolado en el tiempo de fraguado del concreto.
- El aditivo retardante en altas dosis genera elevada exudación en las mezclas de concreto.
- No existe una relación cuantificada entre el uso de altas dosis de aditivo retardante y su efecto en el tiempo de fraguado del concreto.
- No existe una relación cuantificada entre el uso de altas dosis de aditivo retardante y su efecto en la resistencia a la compresión del concreto.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El uso de un diseño de mezcla con el aditivo adecuado puede brindar soluciones ante situaciones desfavorables siempre que se tenga pleno conocimiento de los efectos colaterales que generan en las propiedades del concreto. Sin embargo, muchas veces no se evalúan estos efectos antes de aplicar propuestas de solución, lo cual ocasionaría nuevos problemas tales como exudación elevada, polvillo, descascamiento de la superficie, retardos en tiempo de fraguado, entre otros. Este último problema genera retrasos en el cronograma de obra, sobrecostos por reparaciones y pérdidas de horas hombre para el constructor. En la conferencia técnica “Soluciones a los problemas frecuentes en los vaciados de concreto”, a cargo del magister Julio Carhuamaca Huanri, se indicó que los problemas de retardo de fraguado en el concreto son frecuentes entre el mes de mayo y octubre en la ciudad de Lima (PYS CONCRETO, 2020). Por esta razón, la importancia de esta investigación radica en evaluar uno de los aditivos más usados en un diseño de mezcla convencional para prolongar la trabajabilidad del concreto: el aditivo retardante. Este aditivo, usado en altas dosis puede afectar negativamente el tiempo de fraguado, exudación y slump de la mezcla de concreto. La presente investigación busca evaluar el comportamiento de las mezclas de concreto más usadas en el mercado de relación  $a/c=0.6$  y  $a/c=0.7$  a diferentes dosis de aditivo retardante. La primera etapa se realizó en invierno para ambas relaciones  $a/c$  y la segunda etapa en verano solo para la relación  $a/c=0.7$ .



## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Industria de la construcción

La industria de la construcción antes de la pandemia presentaba un incremento en su crecimiento anual; sin embargo, producto de la cuarentena impuesta por el gobierno, los trabajos fueron paralizados. En el año 2021, esta industria presentó la recuperación más rápida después de la reactivación de las actividades económicas registrando un crecimiento de 41.89% con respecto a su similar en el periodo 2020 (El Peruano, 2021). Actualmente, el Estado Peruano viene trabajando en el “Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad”. Este proyecto tiene el objetivo de convertir al Perú en un país desarrollado, competitivo y sostenible, requiere mejorar la calidad de vida de la población, con visión social y descentralista (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023). A continuación, se detallan algunos de los principales proyectos que se vienen desarrollando como parte de esta propuesta del gobierno peruano.

- Ampliación del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez
- Ampliación del Terminal Multipropósito Muelle Norte - Callao - APM  
Terminals Callao
- Ampliación del Terminal de Contenedores Muelle Sur - Callao - DP World  
Callao

- Línea 2 y Ramal Av. Faucett-Av. Gambeta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao
- Terminal Portuario General San Martín en Paracas, provincia de Pisco.
- Terminal portuario de Chancay
- Proyecto de irrigación Majes Siglas II

Los diversos proyectos que se vienen desarrollando actualmente en el país y los que se tienen planificados en mediano y largo plazo por entidades públicas y privadas aseguran un crecimiento sostenido de la industria de la construcción. Sumado a esto, el estado tiene políticas que impulsan el desarrollo de viviendas sociales tales como techo propio, fondo mi vivienda, bono verde, entre otros. Esto implica un aumento en el consumo de diversas materias primas, entre ellas el consumo de cemento.

## **2.2 CASOS DE ESTUDIO**

Debido a la gran incidencia que tiene el concreto en la industria de la construcción, es importante contar con un control de calidad de este material para evitar que impacte en los costos, cronograma de obra o penalidades por retrasos. El presente trabajo de investigación recolectó información sobre proyectos inmobiliarios y plantas industriales con problemas de retardo de fraguado y como afectaron al proyecto.

### **2.2.1 Problemáticas en obra de elementos verticales**

Este caso es de una empresa constructora que presentó reclamos debido a retardos de fraguado final mayores a 48 horas en elementos verticales. El volumen de concreto total que

presentó un tiempo de fraguado atípico fue de 37.5 m<sup>3</sup> distribuidos en 5 mixers. Estos valores indican que se sobrepasa el tiempo máximo de fraguado final de acuerdo a la norma ASTM C494. Las figuras 1 y 2 muestran el estado de los muros después de 48 horas del vaciado, se puede visualizar que es posible rayar el elemento con las manos. También, la falta de estabilidad de los muros evidenciaba una baja resistencia del concreto, el personal podía mover los muros fácilmente con las manos. Debido a la falta de resistencia de los elementos verticales se decidió demolerlos por temas de seguridad. Esto causó un grave impacto en el presupuesto y en el tren de trabajo de la obra.

Ante el reclamo presentado a la empresa proveedora de concreto, esta justificó que el retardo en el tiempo de fraguado fue ocasionado por la variación de temperatura ambiente. El informe indica que la obra presentó una temperatura baja de 15°C a la hora del vaciado, alegando que el fraguado del concreto es un proceso exotérmico, por lo cual, es susceptible a los cambios de temperatura ambiente ya que puede disminuir o potenciar los efectos del aditivo retardante.



Figura 1. Retardo de fraguado en muros  
Elaboración propia



Figura 2. Superficie de concreto con baja resistencia  
Elaboración propia

### 2.2.2 Problemáticas en obra de elementos horizontales (losas)

Este caso es de una planta industrial que presentó reclamos por retardos de fraguado final en losas. Se registró que cada mixer que era vaciado presentaba un tiempo de fraguado final considerablemente diferente. Además, aquellas mezclas de concretos que sobrepasaron las 27 horas de fraguado final presentaron una elevada exudación provocando un asentamiento plástico en la superficie de las losas. Esto ocasionó irregularidades no deseadas en las superficies por lo que fueron demolidos los 7 paños afectados. En la figura 3 se observa que una zona de la losa presenta retardo de fraguado, lo evidencia el color diferente y el daño en la superficie. La figura 4 muestra el daño en la superficie debido a una elevada exudación.

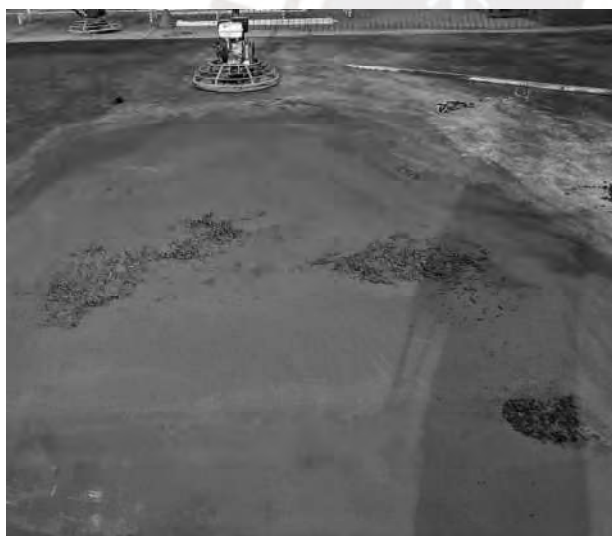


Figura 4 Retardo de fraguado en losa  
Elaboración propia

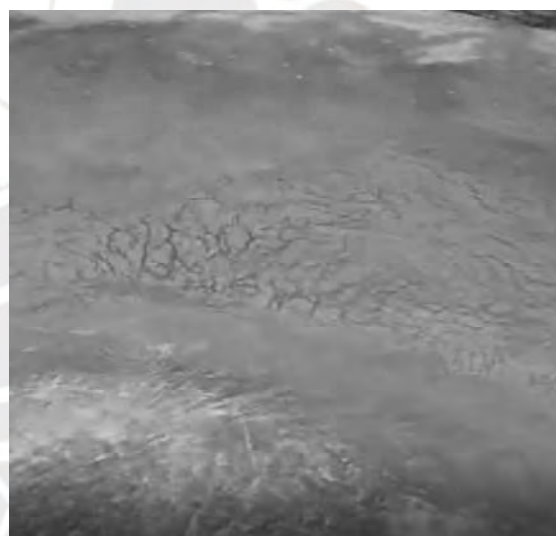


Figura 3. Daño de la superficie  
Elaboración propia

## CAPÍTULO 3

### MARCO TEÓRICO

#### 3.1 DISEÑO DE MEZCLA

Es una mezcla de componentes de cemento, agregado fino, agregado grueso y aditivo en proporciones definidas. La proporción de cada uno de estos componentes está relacionada con las características que se desea obtener del concreto en su estado fresco y endurecido. A continuación, se define cada uno de estos componentes.

##### 3.1.1 Cemento

Es un conglomerante en forma de polvo muy fino cuyo tamaño varía entre 1 a 50  $\mu\text{m}$ . Surge de la combinación de calizas y arcillas u otros óxidos como la cal, sílice, alúmina, óxido férrico, entre otros (Navarro, 2016). El origen de cada componente del cemento influye de forma directa en las propiedades que tendrá el concreto en su estado fresco y endurecido.

##### *El cemento Portland*

La ASTM C150-2019 define al cemento Portland como “el cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón, producto que se obtiene de la pulverización del Clinker Portland con la adición de una o más formas de yeso” (ASTM C150 - 2019, p.1). Razón por la cual será usado en el presente trabajo de investigación.

##### *Tipos de cementos Portland y sus propiedades*

De acuerdo a la ASTM C 150 , el cemento se clasifica en 8 tipos (ASTM C150 - 2019, p.1).

- Tipo I – Normal

Es de uso general y correcto para usar cuando no sean necesario las propiedades de otros tipos de cementos.

- Tipo IA - Normal con aire incluido

Su uso es igual al del tipo I, donde además se requiere la incorporación de aire.

- Tipo II - Moderada resistencia a los sulfatos

Es de uso general y sobre todo cuando se requiere obtener una resistencia moderada a los sulfatos

- Tipo IIA - Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido

Posee el mismo uso que el tipo II, donde además se requiere la incorporación de aire

- Tipo III - Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)

Su uso se da ante la necesidad de una alta resistencia temprano.

- Tipo IIIA - Alta resistencia inicial con aire incluido

Posee el mismo uso que el tipo III, donde además se requiere la incorporación de aire

- Tipo IV - Bajo calor de hidratación

Su uso se da ante la necesidad de obtener un bajo calor de hidratación

- Tipo V - Alta resistencia a los sulfatos

Su uso se da ante la necesidad de obtener una resistencia alta a los sulfatos.

### 3.1.2 Agregado grueso

Según la NTP 400.037, se define al agregado grueso como “el conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones son retenidas por el tamiz normalizado 4,75 mm” (NTP 400.037- 2014, p.1).

### 3.1.3 Agregado fino

Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (NTP 400.037- 2014, p1).

La norma ASTM C33 - 2019 indica una serie de características que debe poseer el agregado para que su uso pueda ser adecuado en las mezclas de concreto. Una adecuada granulometría proporciona una cohesión óptima de la mezcla, lo cual brinda mayor resistencia a la exudación. Trabajar con una mezcla de concreto con esta propiedad genera una disminución en la aparición de patologías en el concreto como polvillo, descascaramiento de la superficie, resquebrajamiento de la superficie, entre otras.

### 3.1.4 Agua

La norma ASTM C1602 - 2018 indica que el agua es aceptable para el diseño de mezclas de concreto si no afecta el comportamiento del fraguado, desarrollo de la resistencia y la durabilidad (ASTM C1602 - 2018, p.1).

## 3.2 ADITIVOS

La ASTM C125 – 2019 define al aditivo como “un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado” (ASTM, C125 - 2019, p.1). Lo innovador de este material es que gracias a su composición química puede generar grandes cambios en las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido. Esto favorece al desarrollo con éxito de los retos de la construcción, ya que le proporciona al

concreto mejor comportamiento, con características específicas de desempeño, con menor costo de producción, con mejores acabados, entre otros beneficios que no podrían obtenerse de un concreto convencional sin aditivos. Actualmente, existe una gran variedad de aditivos, los cuales son clasificados por la ASTM C494 - 2019 según su función principal de la siguiente manera:

- Tipo A—Aditivos reductores de agua
- Aditivo B—Aditivos retardadores
- Tipo C— Aditivos aceleradores
- Tipo D— Aditivos reductores de agua y retardadores
- Tipo E— Aditivos reductores de agua y aceleradores
- Tipo F— Aditivos reductores de agua, de alto rango
- Tipo G— Aditivos reductores de agua, de alto rango, y retardadores.

A continuación, se dará un mayor alcance de los aditivos superplastificantes y retardantes, ya que estos son los más usados en un diseño de mezcla convencional en la industria de la construcción. Además, como una propuesta de solución a la problemática en obra de pérdida de slump en corto tiempo y retardo de fragua prolongado, se dará mayor alcance al aditivo retenedor de trabajabilidad.



### 3.2.1 Aditivos superplastificantes

Actualmente, existe una gran variedad de aditivos superplastificantes los cuales son clasificados en función a su base química principal. La ACHE (Asociación Científico Técnica del Hormigón Estructural, 2010, p.62) clasifica a los aditivos plastificantes en tres categorías según su base química de la siguiente manera:

- Sales de condensado de naftaleno sulfonado y formaldehído (SNF)
- Sales de condensado de melanina sulfonada y formaldehído (SMF)
- Polímeros con configuración tipo piene (PCE)

Las bases químicas 1° y 2° dieron origen a los primeros reductores de agua de alto rango. Estos se caracterizan por tener un grupo funcional sulfonato que genera una superficie electrostáticamente negativa. Cuando este aditivo entra en acción con la partícula de cemento su superficie se vuelve electrostáticamente negativa repeliendo a las otras partículas alrededor. Esto genera que cada partícula de cemento se separe evitando la formación de flocos lo cual causa un aumento el porcentaje de partículas hidratadas de cemento con una menor cantidad de agua (ACHE, 2010, pp. 34-35).

Los aditivos superplastificantes de la base química 3° son llamados aditivos de nueva generación, ya que proporcionan a las mezclas de concreto un mejor desempeño. Estos aditivos poseen una larga cadena a la cual se encuentran unidos una serie de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos, de la variación de estos grupos dependerá su efecto en las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido. Esta base tiene la misma forma de acción que la base química 1° y 2° con la diferencia que proporcionan una mayor capacidad

reductora de agua a la mezcla de concreto y mejores comportamientos en otras propiedades del mismo (ACHE, 2010, pp.34-35).

Los aditivos superplastificantes son usualmente usados en nuestro medio con 3 objetivos diferentes:

1. Para mejorar la resistencia y durabilidad de la mezcla o como un simple reductor de agua en donde este insumo es escaso. Esta reducción de agua se realiza sin afectar el slump de la mezcla.
2. Para obtener un mayor slump en diseños con bajas relaciones agua cemento. En estos casos se mantiene el contenido de agua y, por ende, se mantiene la misma resistencia de diseño y durabilidad de la mezcla.
3. Para optimizar el contenido de agua y cemento, con lo cual el costo de producción del concreto disminuye. En estos casos se mantiene el mismo slump y resistencia de diseño. Además, como un efecto colateral por la disminución del contenido de cemento se disminuye el calor de hidratación de la mezcla generando una menor probabilidad de la aparición de fisuras por retracción plástica.

### **3.2.2 Aditivos retardantes**

Los aditivos retardantes son aquellos que poseen la propiedad de retardar el tiempo de fraguado inicial y final del concreto. Un efecto colateral del uso de este aditivo es que incrementa el tiempo de mantención del slump de la mezcla, lo cual favorece al constructor ya

que le proporciona un mayor tiempo de colocación de la mezcla. Estos aditivos están formulados en base a una proporción definida de los siguientes compuestos:

1. Azúcares y polioles
2. Ácidos hidroxicarboxílicos
3. Sales de ácido fosfórico o fosfónico
4. Entre otros componentes como glicerol, alcohol polivinílico, ácido sulfanílico, u otros.

Las combinaciones de estos compuestos determinarán la variación de su comportamiento en las mezclas de concreto. Su modo de acción consiste en que el aditivo se deja absorber por la partícula de cemento y así evita que las partículas de agua hidraten al grano de cemento (ACHE, 2010, pp. 99-101).

### **3.2.3 Efectos directos y colaterales del uso de aditivos**

Existen una gran variedad de aditivos y cada uno poseen características diferentes en sus efectos directos y colaterales. A continuación, se detallan los efectos colaterales del uso de los aditivos que se usaron para la presente investigación.

#### **3.2.3.1 *Aditivo superplastificante o reductores de agua:***

El aditivo superplastificante es uno de los aditivos más usados en el mercado peruano para mejorar el desempeño de las mezclas de concreto. Su efecto directo es la reducción del agua y se clasifican en 3 tipos según su grado de acción.

- Convencionales: Reducen el contenido de agua desde un 5% a un 10 %.
- Rango medio: Reducen el contenido de agua desde un 6% a un 12%.
- Alto rango: Reducen el contenido de agua desde un 12 a 30 %

Su principal efecto colateral es el retardo del tiempo de fraguado de la mezcla de concreto debido a una propiedad inherente a compuestos y materias primas que se usan generalmente en la fabricación de estos aditivos. Sus principales materias primas son las siguiente:

- Lignosulfatos
- Carbohidratados
- Ácido carboxílico hidroxilatado

### 3.2.3.2 *Aditivo retardante*

Este es otro de los aditivos más usados en el mercado peruano. Su utilidad radica en que proporciona un mayor tiempo de plasticidad a la mezcla de concreto. A continuación, se mencionan algunos de los casos en los que suele usar este aditivo:

- Cuando se tienen las largas distancias para transportar la mezcla de concreto.
- Cuando se tienen altas temperaturas del ambiente, para evitar un fraguado violento.
- Cuando se desea bombear grandes longitudes la mezcla de concreto.
- Cuando el tipo de vaciado se prolonga por su complejidad.

Sin embargo, cuando se utiliza en altas dosis o cuando poseen un alto contenido de Carbohidratos (azúcar) el tiempo de fraguado se retrasa significativamente superando muchas veces las 48 horas, lo cual resulta perjudicial para el constructor.

Este aditivo, además, aumenta el tiempo de mantención del slump de la mezcla, lo cual favorece al constructor ya que le proporciona un mayor tiempo de colocación de la misma.

### **3.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

#### **3.3.1 Trabajabilidad (slump)**

“La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se conoce como trabajabilidad” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi, 2004, p.3). Esta propiedad del concreto posee una relación directamente proporcional con el contenido de agua de la mezcla. Los diseños de mezcla deben realizarse adecuadamente para lograr concretos trabajables sin problemas de segregación de sus componentes. De este ensayo se pueden obtener los siguientes tipos de fallas:

##### **3.3.1.1 *Falla normal***

Se obtiene una falla tipo normal cuando se logra observar el borde competente del radio superior del cono. Este tipo de falla indica que la mezcla de concreto posee adecuada cohesión, uniformidad y plasticidad para ser vaciado en obra. (ASTM C 143, 2019)

##### **3.3.1.2 *Falla por corte:***

Se obtiene una falla por corte cuando una porción de la mezcla se separa observándose solo parte del diámetro superior del cono. La ASTM C 143 indica que si se obtiene por primera vez una falla tipo corte este ensayo se debe realizar nuevamente de otra parte de la muestra. En caso de obtener 2 veces consecutivas una falla tipo corte la mezcla de concreto probablemente carece de plasticidad y cohesión necesarias para que este ensayo sea aplicable. (ASTM C 143, 2019).

### 3.3.1.3 *Falla por derrumbamiento:*

Se obtiene una falla por derrumbamiento cuando no se logra observar el diámetro superior del cono.

### 3.3.1.4 *Factores que afectan la trabajabilidad:*

#### a) Granulometría del agregado

El diseño de mezcla debe contener un adecuado contenido de agregado fino y grueso para dotar a la mezcla de adecuada cohesión y evitar obtener fallas tipo corte o derrumbamiento. (ASTM C143, 2019).

#### b) Agua

Se debe dosificar adecuadamente el contenido de agua de la mezcla ya que este insumo afecta directamente al slump que se obtendrá de la mezcla.

#### c) Aditivos

Existen aditivos que afectan directa e indirectamente a esta propiedad del concreto. Los aditivos plastificantes afectan esta propiedad directamente evitando

### 3.3.2 **Tiempo de fraguado**

La Norma ACI 116R-00 define al tiempo de fraguado como “la condición alcanzada por una pasta de cementicia, mortero u hormigón que ha perdido plasticidad hasta un nivel arbitrario”; mientras que, la ASTM C403-2019 indica que cualquier definición del tiempo de fraguado debe ser necesariamente arbitraria ya que es un proceso gradual. Ambas Normas miden el tiempo de fraguado como la resistencia a la penetración del concreto.

### 3.3.2.1 *Tiempo de fraguado inicial*

Es el tiempo que transcurre desde el inicio de las reacciones químicas entre el agua y el cemento hasta el inicio del endurecimiento del concreto. Pasquel lo define como “la etapa en la que empieza el endurecimiento y la pérdida de plasticidad, lo cual se mide en términos de resistencia a la deformación. Este proceso dura alrededor de tres horas y produce una serie de reacciones químicas que forman un gel llamado Hidratos de Silicatos, el cual se vuelve más estable con el tiempo” (Pasquel, 1993, p. 27). La Norma ASTM C403 indica que el tiempo de fraguado inicial ocurre cuando la aguja penetra 1 pulgada de profundidad. Esta propiedad del concreto indica al constructor el inicio del curado del concreto. Un curado oportuno de elementos de concreto ayuda a disminuir la aparición de fisuras.

### 3.3.2.2 *Tiempo de fraguado final*

Esta etapa se desarrolla al término del fraguado inicial y es donde la mezcla de concreto obtiene un alto grado de endurecimiento. Existen obras en las cuales se requiere mantener la trabajabilidad de la mezcla de concreto por un tiempo prolongado ante lo cual es común el uso de aditivo retardante que, como su propio nombre menciona, retarda el tiempo de fraguado inicial y final; sin embargo, de acuerdo a la base química de estos aditivos existe la posibilidad de no tener un control en el tiempo de fraguado total, como es el caso de los aditivos retardantes a base de azúcares. Esta propiedad del concreto indica al constructor cuando puede realizar el desencofrado de los elementos estructurales.

### 3.3.2.3 *Factores que afectan el tiempo de fraguado del concreto:*

#### a) Tipo de cemento

El cemento Portland está conformado por cuatro compuestos principales: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico variando las proporciones para cada tipo de cemento. El C3S, C3A y son los componentes que tienen mayor incidencia en el calor de hidratación de la mezcla que afectando el tiempo de fraguado inicial y final.

#### b) Temperatura y clima

La Norma E.060 indica que la temperatura del concreto al ser colocado no debe ser mayor a 35°C ya que podría causar problemas como fisuración, caída brusca de slump, fraguado violento, entre otros; mientras que la temperatura mínima de colocación debe ser 5°C de lo contrario se producirá un fraguado lento e incluso la mezcla podría no fraguar por varios días. (N.T.E. E.060 de Concreto Armado, pp. 34)

#### c) Aditivos químicos

Los aditivos diseñados para controlar el tiempo de fraguado del concreto son los acelerantes y retardantes; sin embargo, al emplearlos en altas dosis (fuera del rango especificado en su ficha técnica) se pierde el control sobre el tiempo de fraguado de la mezcla.

### 3.3.3 **Exudación**

La exudación o sangrado del concreto se da cuando una parte del agua de la mezcla sube a la superficie del concreto recién vaciado al mismo tiempo que las partículas sólidas se asientan. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, Tanesi, 2004, p.4).



La presencia de exudación moderada es común y no debería afectar la calidad del concreto; sin embargo, al presentarse en cantidades excesivas aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie lo cual produce una capa superficial de baja resistencia y se podría desarrollar un fenómeno llamado descascamiento.

### 3.3.3.1 *Factores que afectan la exudación*

#### a) Aditivo químico

Los aditivos están diseñados para proporcionar características específicas a la mezcla de concreto; sin embargo, suelen generar efectos colaterales en otras propiedades. La exudación es una propiedad que se ve afectada por el uso de aditivo plastificante, superplastificante o retardante, los cuales al ser usados en dosis elevadas podrían causar exudación excesiva. (ACHE, p. 62 y 101)

#### b) Granulometría del agregado

El agregado fino que se usa en un diseño de mezcla debe poseer una granulometría proporcional por cada malla para que presente exudación normal. En otras palabras, si se cuenta con agregado deficiente de finos, la mezcla podría presentar elevada exudación

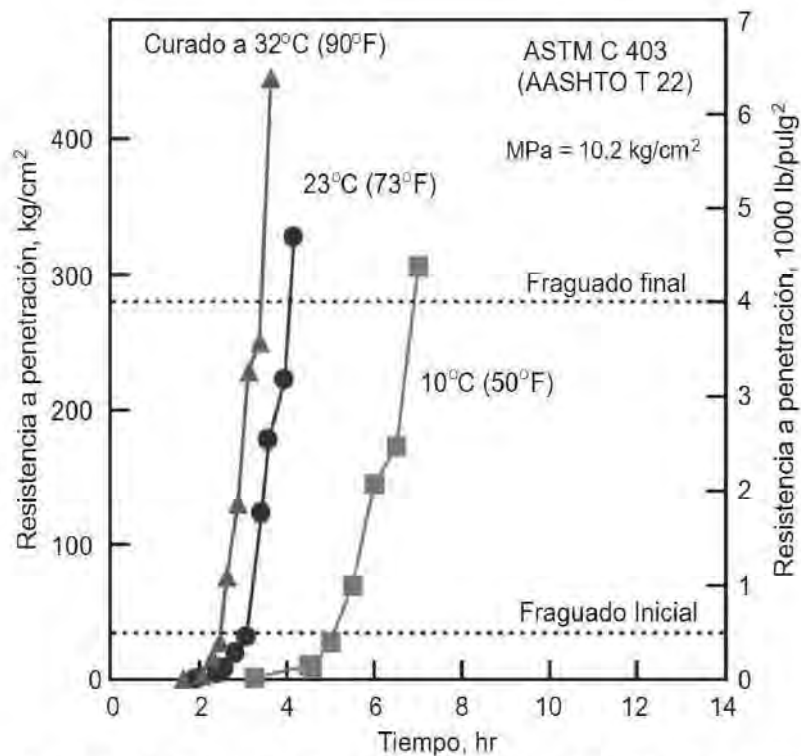
## 3.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 3.4.1 **Resistencia a la compresión:**

Se define como el esfuerzo máximo de compresión axial para un testigo de concreto. Estos ensayos suelen realizarse a diferentes edades del concreto. Esta es una propiedad que representa a los elementos estructurales ya que indica los esfuerzos que es capaz de resistir una sección.

### 3.5 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL TIEMPO DE FRAGUADO

El libro “Diseño y control de las mezclas de concreto” de la PCA nos muestra el comportamiento del tiempo de fraguado del concreto evaluado a diferentes temperaturas (PCA, 2004). En la figura 3 podemos observar que a temperaturas mayores de 23°C el tiempo de fraguado final es menor y para temperaturas menores de 23°C el tiempo de fraguado final se retrasa significativamente. Una de las variables de estudio en la presente investigación es el efecto de la temperatura ambiente en la temperatura de la mezcla y el tiempo de fraguado.



**Fig. 1-11. Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas (Burg 1996).**

Figura 5: Efecto de la temperatura en el tiempo de fraguado del concreto

Tomado de “Diseño y control de mezclas de concreto” por Portland Cement Association (EEUU), 2004

## CAPÍTULO 4

### METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 4.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

Esta investigación se centra en un diseño de una mezcla de concreto de uso común por las empresas de premezclado en el Perú. Por ello, los materiales seleccionados serán los más usados por estas empresas, esto nos ayudará a recrear con mayor exactitud las condiciones de producción de las mezclas de concreto ofrecidas al mercado peruano.

##### 4.1.1 Cemento

Es un insumo fundamental para el diseño de mezcla del concreto, ya que, influye representativamente en las propiedades de la mezcla. Para esta investigación se utilizará el cemento Sol tipo I por los siguientes motivos:

- Por ser el más usado en la producción de concreto
- Por proporcionar un alto calor de hidratación a la mezcla de concreto

Este último motivo proporciona un escenario desfavorable en zonas de clima cálido, ya que eleva la temperatura de la mezcla logrando superar muchas veces los 35°C de temperatura máxima establecida por la Norma E060. Este tipo de cemento nos acercará más a las condiciones en obra en donde observaremos su comportamiento en diferentes diseños de mezclas.

Tabla 1. Características físicas del cemento tipo I

Requisitos físicos	Norma ASTM C-150 NTP 334.009	Cemento Portland Tipo I
Superficie específica Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	260 min.	333
Contenido de aire (%)	12 máx.	7
Expansión autoclave (%)	0.8 máx.	0.06
Fraguado inicial Vicat (min)	45 min.	126
Fraguado final Vicat (min)	375 máx.	307
f'c a los 3 días (MPa)	12 min.	29.4
f'c a los 7 días (MPa)	19 min.	36.1
f'c a los 28 días (MPa)	28 min.	44.3
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	No presenta	3.13
Calor de hidratación 7 días (cal/gr)	No presenta	77.57
Calor de hidratación 28 días (cal/gr)	No presenta	82.69
Contenido de aire (%)	12 máx.	7

Tabla 2. Características químicas de cemento tipo I

Requisitos químicos	Norma ASTM C-150 NTP 334.009	Cemento Portland Tipo I
Dióxido de Sílice (SiO <sub>2</sub> ) %	-	19.01
Óxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	-	5.85
Óxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) %	-	3.29
Óxido de Calcio (CaO) %	-	61.95
Óxido de Magnesio (MgO) %	6.0 máx.	2.89
Trióxido de Azufre (SO <sub>3</sub> ) %	3.5 máx.	3.19
Óxido de Potasio (K <sub>2</sub> O) %	-	0.85
Óxido de Sodio (Na <sub>2</sub> O) %	-	0.32
Pérdida por Ignición (P.I.) %	3.5 máx.	2.08
Residuo Insoluble (%)	1.5 máx.	0.92
Cal Libre (CaO) %	-	0.51

CO <sub>2</sub> (%)	-	1.29
Caliza (%)	5.0 máx.	3.5
CaCO <sub>3</sub> en Caliza	70 min.	73
C <sub>3</sub> S (%)	-	53
C <sub>2</sub> S (%)	-	13
C <sub>3</sub> A (%)	-	10
C <sub>4</sub> AF (%)	-	10

#### 4.1.2 Agregados

En esta primera etapa se evalúan las propiedades de la piedra Huso 67 y la arena gruesa.

Para ello, se realizan los siguientes ensayos de laboratorio:

- Granulometría y módulo de finura del agregado grueso y fino (ASTM C136-2019)
- Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino (ASTM C29 - NTP 400.017)
- Peso específico y humedad de absorción del agregado grueso (ASTM C 127-2019)
- Peso específico y humedad de absorción del agregado fino (ASTM C128 -2019)
- Sales, sulfatos y cloruros (Se obtiene de las especificaciones del proveedor- NTP 400.16 sulfatos - NTP 334.042 sales)

Se evalúa el contenido de finos en las arenas con el ensayo Malla 200 para evaluar si afecta el consumo de aditivo. (Norma ASTM C117-2019)

Estos ensayos nos ayudan a conocer las características físicas y químicas del agregado que será usado en los diseños de mezcla. Asimismo, podremos conocer cómo afectarán las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido.

#### 4.1.2.1 Agregado fino

El agregado seleccionado proviene de la Cantera de Jicamarca, este es un agregado lavado que ayuda a controlar el porcentaje de finos que pasan la malla #200, ya que, como indica la Norma ASTM C33-2019, el porcentaje máximo de finos para concreto de uso en edificaciones es del 5%. A continuación, se adjunta la granulometría del material.

Tabla 3. Granulometría de agregado fino

	Pd = Porcentaje que pasan en malla "d"						
Malla ASTM	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
Abertura (mm)	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Muestra	96	78	62	42	21	6	1.3

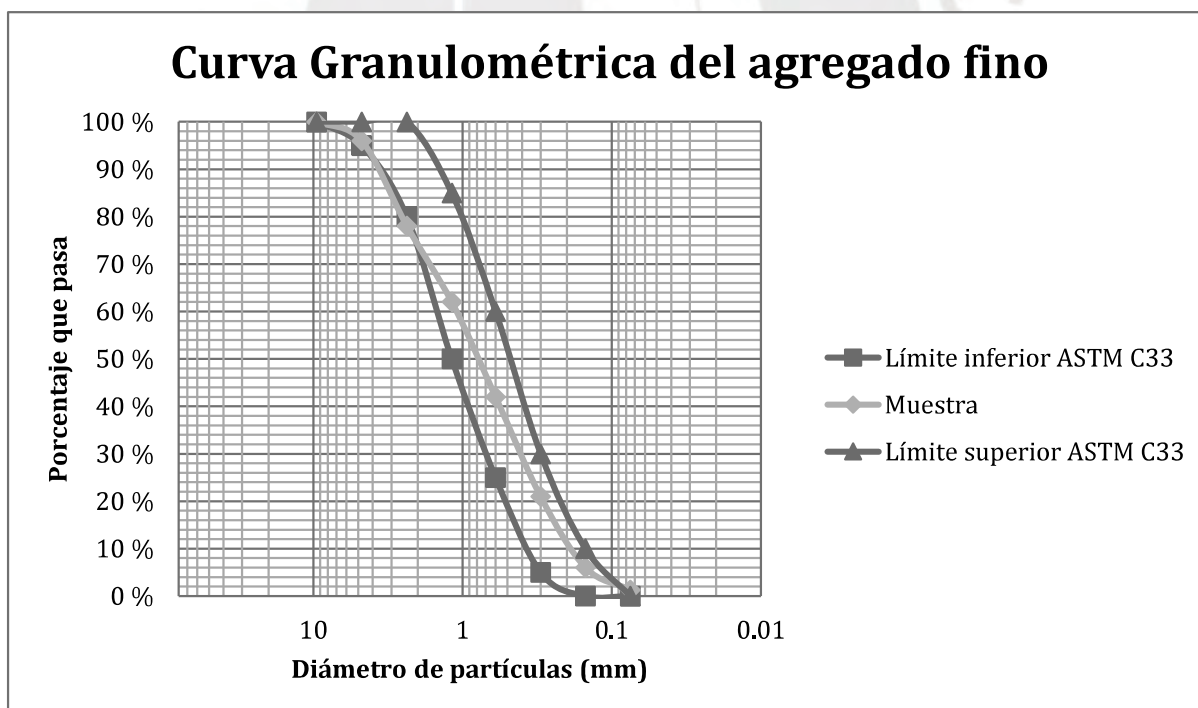


Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino

Elaboración propia

Tabla 4. Características físicas del agregado fino

Agregado fino	
M.F.	2.95
P.U. comp. (g/cm <sup>3</sup> )	1.75
P.U. suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1.52
P.E. seco (g/cm <sup>3</sup> )	2.64
P.E. sss (g/cm <sup>3</sup> )	2.61
Wa (%)	1.83

#### 4.1.2.2 Agregado grueso

El agregado grueso o piedra se clasifica según el número de huso. Para esta investigación se ha seleccionado el HUSO 67 para el desarrollo de las mezclas de concreto, el cual proviene de la Cantera de Jicamarca. A continuación, se detalla las características del agregado:

Tabla 5. Granulometría del agregado grueso

Pd = Porcentaje que pasan en malla "d"								
Malla ASTM	3"	2"	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4
Abertura (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.7	9.52	4.75
Muestra	100.0	100.0	100.0	100.0	92	16	2	0

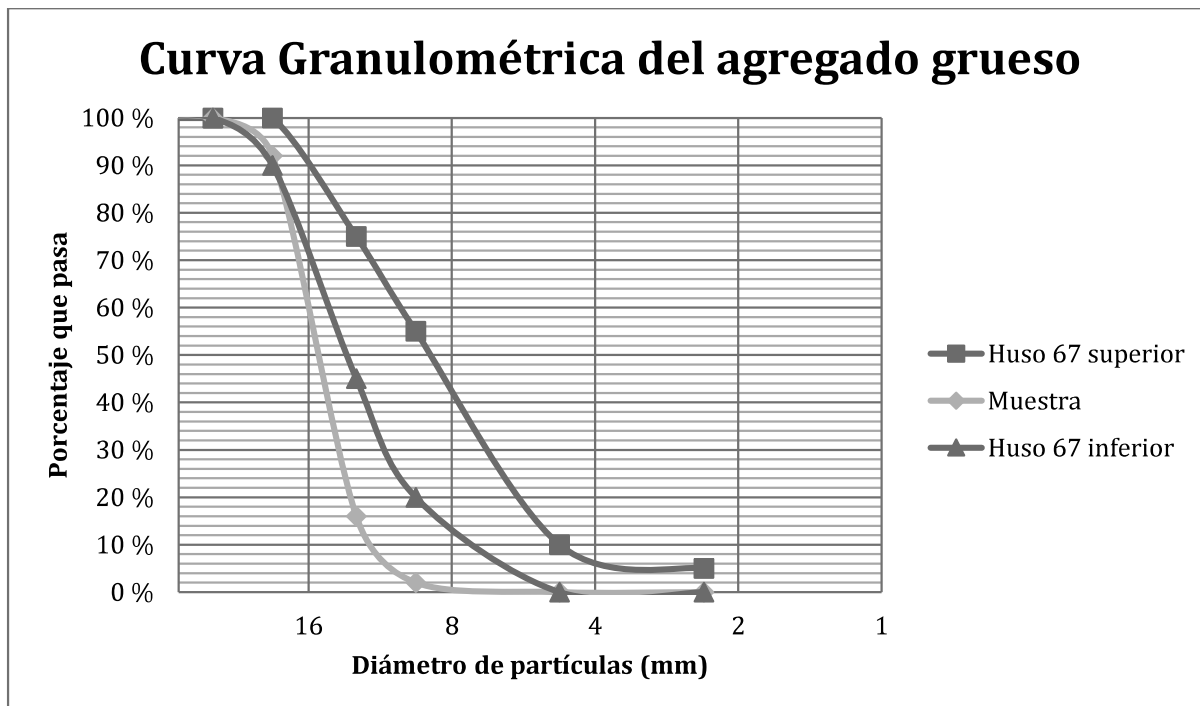


Figura 7. Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente propia

Según la figura 7, la granulometría del agregado grueso no se encuentra dentro del Huso 67; por lo cual, se realizaron los diseños de mezcla de concreto con el método Fuller.

Tabla 6. Características físicas del agregado grueso

Agregado grueso	
T.M.N.	1"
M.F.	7.06
P.U. comp ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.60
P.U. suelto ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.45
P.E. seco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.70
P.E. sss ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2.68
Wa (%)	0.79



#### 4.1.2.3 *Parábola de Fuller*

Los resultados obtenidos del agregado grueso muestran que no se encuentra dentro del Huso 67. Es decir, el agregado utilizado no es normalizado por lo que se realizó la parábola de Fuller para obtener un agregado global adecuado. Este agregado global es usado para los diseños de mezclas de esta investigación.

Tabla 7: Parábola de Fuller

Pd = Porcentaje que pasan en malla "d"												
Malla ASTM	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	M.F
Abertura (mm)	25.4	19.05	12.7	9.525	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
Parábola de Fuller	100	86.6	70.7	61.2	43.2	30.5	21.6	15.4	10.9	7.7	5.4	6.2
M: 0.45Ag+0.55G	100	95.6	53.8	46.1	43.2	35.1	27.9	18.9	9.5	2.7	0.6	6.2
M: 0.50Ag+0.50G (corregido)	100	96.0	58.0	51.0	48.0	39.0	31.0	21.0	10.5	3.0	0.7	6.0

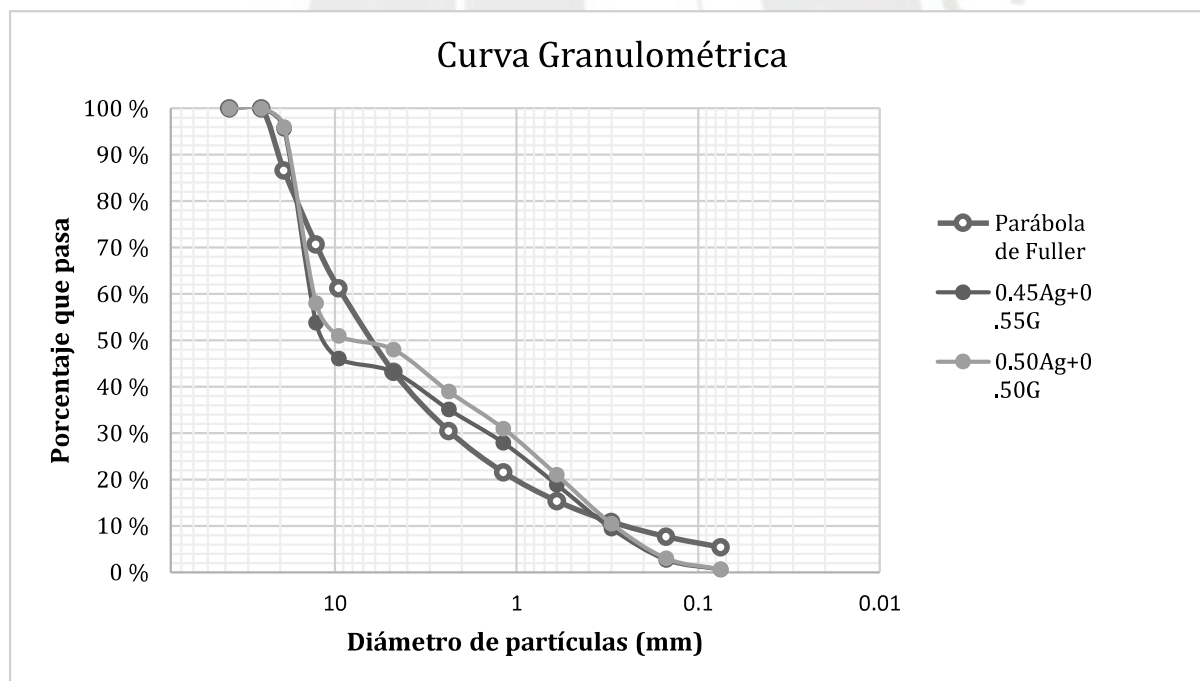


Figura 8. Parábola de Fuller

Elaboración propia

#### **4.1.3 Agua**

Es un insumo que hidrata al cemento generando el desarrollo su propiedad conglomerante en la mezcla de concreto. Para el diseño de la mezcla se usará agua potable, ya que cumple con los requisitos establecidos por la Norma NTP 339.088.

#### **4.1.4 Aditivo retardante**

Es un insumo de uso común en las mezclas de concreto para retrasar la fragua inicial de la mezcla. Esto le permite a la mezcla mantener por un mayor tiempo su trabajabilidad. Para el desarrollo de esta investigación se ha seleccionado al aditivo MasterSet R 770I por ser uno de los más usados en el mercado peruano. La presente investigación desarrolla diseños de mezcla con relaciones  $a/c=0.6$  y  $a/c=0.7$  para diferentes dosis de aditivo retardante para evaluar el comportamiento de las principales propiedades del concreto como trabajabilidad, exudación y tiempo de fraguado inicial y final. Este aditivo cumple con los requerimientos de la Norma ASTM C494 para aditivos tipo D.

#### **4.1.5 Aditivo superplastificante**

Es un aditivo de uso común en las mezclas de concreto para aumentar la trabajabilidad, para obtener mezclas de baja relación agua cemento y para optimizar el contenido de agua y cemento. En esta investigación, se evalúa un diseño de mezcla convencional, en el cual se usa al aditivo superplastificante para aumentar la trabajabilidad de la mezcla. En los diseños de mezcla de concreto se utilizó el aditivo MasterRheobuild 1003, el cual es uno de los más usados en el mercado peruano. Este es un aditivo reductor de agua de alto rango tipo A y F que cumple

con la Norma ASTM C 494. A continuación, se presentan los principales beneficios del uso de este aditivo en el rango de dosificación recomendada por el fabricante.

- Rango de plasticidad de 200 a 280 mm (8-11 in)
- Retención prolongada de asentamiento
- Tiempos de fraguado controlados
- Permite mezclas cohesivas sin segregación y mínima exudación de agua

#### **4.2 CAMPAÑA EXPERIMENTAL**

El presente trabajo de investigación se basa en una metodología cuantitativa ya que se realiza ensayos de laboratorio para un posterior análisis de resultados. La campaña experimental se desarrolló durante dos etapas, cuya variable principal es la temperatura ambiente ya que esta presenta una gran influencia en las propiedades del concreto, principalmente en el tiempo de fraguado inicial y final.

En la primera etapa, cuyo desarrollo se realiza en el mes de octubre del año 2019, se tiene como temperatura ambiente promedio 19.5°C; mientras que, en la segunda etapa desarrollada en el mes Febrero del año 2020 se obtuvo como temperatura ambiente promedio 28.2°C.

En esta primera etapa, se trabaja con relaciones  $a/c = 0.6$  y  $a/c = 0.7$  ya que son las resistencias de concreto más pedidos en el mercado peruano. Para cada una de las relaciones  $a/c$  (agua – cemento) se desarrolla cuatro diseños de mezcla diferente cuya variable es la dosis de aditivo retardante. Esto con el fin de analizar si existe alguna relación entre la dosificación de aditivo retardante con el tiempo de fraguado.

En la segunda etapa se trabaja solo con la relación  $a/c = 0.7$  ya que es el más usado en el mercado peruano y, al igual que la primera etapa, la variable principal es la dosis de aditivo retardante con el mismo fin de analizar si existe alguna relación entre la dosificación de aditivo retardante con el tiempo de fraguado.

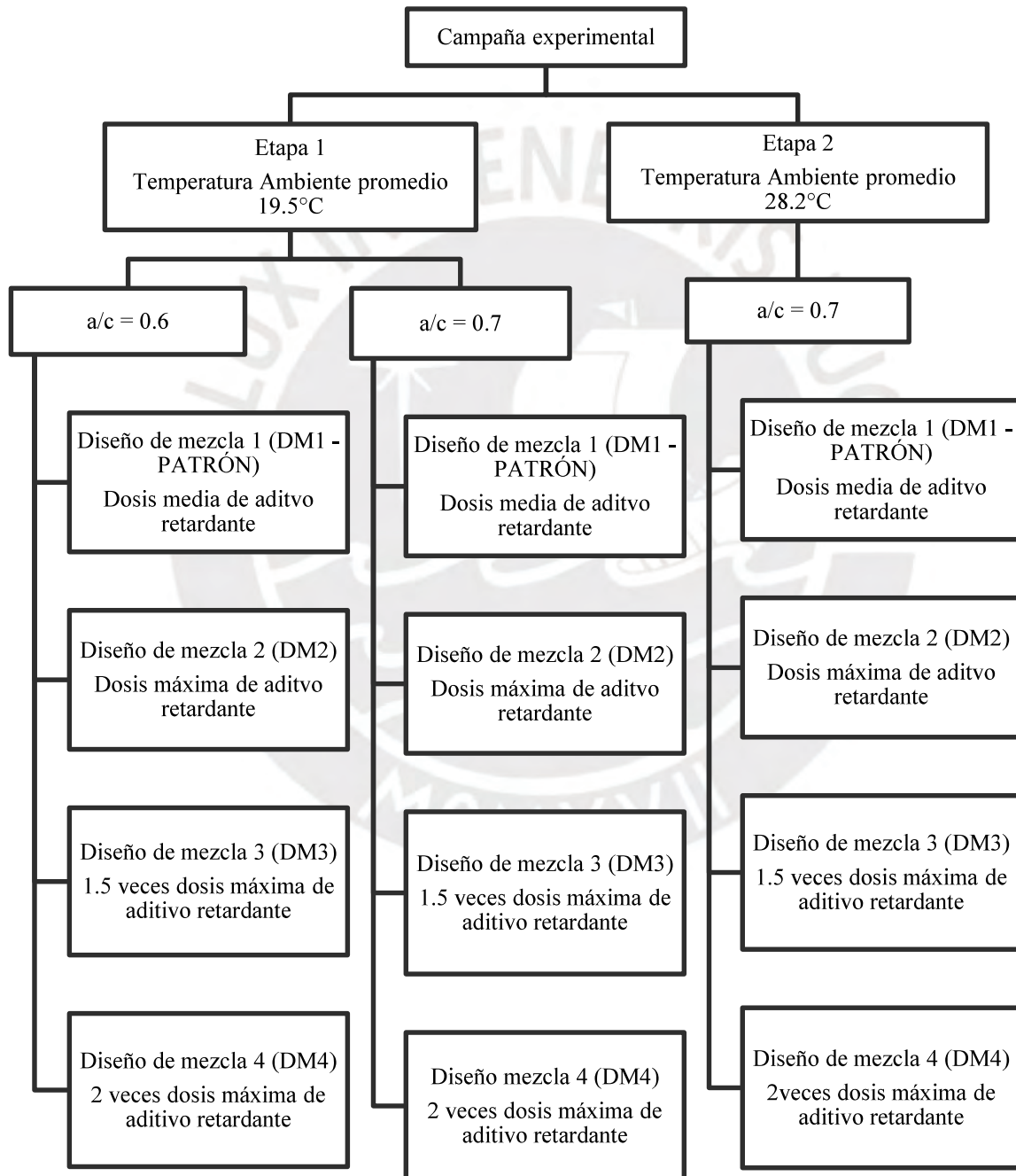


Figura 9: Campaña experimental

Elaboración propia

La figura 9 muestra un mapa conceptual donde se detalla la cantidad de diseños de mezclas que se realizaron por cada etapa y cada relación a/c. Por cada diseño de mezcla se realizaron 3 tandas idénticas, es decir 3 mezclas de concreto con las mismas cantidades de insumos. Sin embargo, debido a la cantidad de ensayos solo se realizaron 2 tandas por día. El concreto es muy susceptible a los cambios de temperatura ambiente por lo que se observó una variación considerable en los resultados obtenidos en la tercera mezcla que se realizó un día después. Por esta razón se decidió eliminar las terceras tandas realizadas en todos los ensayos.

#### **4.2.1 Diseños de mezcla**

En esta etapa se utilizó los datos de caracterización de los agregados para realizar los diseños de mezclas para tandas de  $0.07 \text{ m}^3$ . Asimismo, los diseños de mezcla se corrigieron de acuerdo a los resultados obtenidos del contenido de humedad natural de los agregados grueso y fino para realizar el rediseño de mezcla adecuado (ASTM C566 - NTP339.185). El diseño de mezcla se realizó mediante el método Füller ya que como se puede observar en las figuras 6 y 7, los agregados no se encuentran normalizados.

##### **4.2.1.1 Diseño de mezcla Patrón**

En la primera etapa, el diseño de la mezcla 1 (diseño de mezcla Patrón) se realiza con el uso de aditivo plastificante y retardante dentro del rango recomendado por el fabricante. Este diseño es realizado para relaciones  $a/c=0.60$  y  $a/c=0.70$  y para un slump de 6" a 8". Se realizó tres tandas con esta dosificación: una mezcla Patrón y 2 réplicas para que los resultados obtenidos sean representativos. Esta mezcla permitió observar las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido y los resultados obtenidos serán tomados como referencia para

posteriormente poder compararlos con los diseños de mezcla 2, 3 y 4. En la segunda etapa, se evaluó los mis diseños de mezcla realizados para la relación  $a/c=0.7$ .

Tabla 8. Diseño de mezcla 1 (mezcla Patrón)

	Vol. por mezclar		1.00 m <sup>3</sup>	
Diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)				
Dosis media de aditivo retardante				
	--	0.50	--	0.50
a / c	0.7	--	0.6	---
	Peso seco (kg)	Volumen (m3)	Peso seco (kg)	Volumen (m3)
Agua	198	0.1980	198	0.1980
Cemento	283	0.0898	330	0.1048
Aire	---	0.0150	---	0.015
Arena	923	0.3469	902	0.3392
Piedra	937	0.3470	916	0.3392
Retardante	0.002	0.0014	0.002	0.0016
Plastificante	0.002	0.0020	0.002	0.0023
	2341	1.000	2346	1.000

#### 4.2.1.2 *Diseño de mezcla con altas dosis de aditivo retardante*

En la primera etapa, se realizaron 4 tipos de dosificaciones, en las cuales se mantuvo constante la cantidad de aditivo plastificante y se elevó la dosis del aditivo retardante para las relaciones  $a/c=0.6$  y  $a/c = 0.7$ . La primera dosis del aditivo retardante fue la dosis media de aditivo retardante establecida por el fabricante. La segunda dosis fue la dosis máxima de aditivo retardante, la tercera dosis fue 1.5 veces la dosis máxima de aditivo retardante; mientras que, para la cuarta dosis se usó 2 veces la dosis máxima recomendada por el fabricante. Es importante recalcar que el diseño de mezcla tuvo un contenido de aditivo plastificante dentro

del rango indicado en su ficha técnica. En la segunda etapa, se evaluó los mis diseños de mezcla realizados para la relación  $a/c = 0.7$ .

Tabla 9. Diseños de mezcla para  $a/c = 0.6$

Vol. por mezclar 1.00 m <sup>3</sup>						
	Diseño de mezcla 2 (DM2) Dosis máxima de aditivo retardante		Diseño de mezcla 3 (DM3) 1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante		Diseño de mezcla 4 (DM4) 2.0 veces dosis máxima de aditivo retardante	
a / A	---	0.50	---	0.50	---	0.50
a / c	0.6	---	0.6	---	0.6	---
	Peso (kg)	Volumen (m3)	Peso (kg)	Volumen (m3)	Peso (kg)	Volumen (m3)
Agua	198	0.1980	198	0.1980	198	0.1980
Cemento	330	0.1048	330	0.1048	330	0.1048
Aire	---	0.0150	---	0.0150	---	0.0150
Arena	901	0.3389	901	0.3386	900	0.3382
Piedra	915	0.3390	914	0.3386	913	0.3382
Retardante	0.002	0.0018	0.003	0.0024	0.004	0.0032
Plastificante	0.003	0.0026	0.003	0.0026	0.003	0.0026
	2344	1.000	2343	1.000	2341	1.000

Tabla 10. Diseños de mezcla para  $a/c = 0.7$

Vol. por mezclar 1.00 m <sup>3</sup>						
	Diseño de mezcla 2 (DM2) Dosis máxima de aditivo retardante		Diseño de mezcla 3 (DM3) 1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante		Diseño de mezcla 4 (DM4) 2.0 veces dosis máxima de aditivo retardante	
a / A	---	0.50	---	0.50	---	0.50
a / c	0.7	---	0.7	---	0.7	---
	Peso (kg)	Volumen (m3)	Peso (kg)	Volumen (m3)	Peso (kg)	Volumen (m3)
Agua	198	0.1980	198	0.1980	198	0.1980
Cemento	283	0.0898	283	0.0898	283	0.0898
Aire	---	0.0150	---	0.0150	---	0.0150
Arena	922	0.3467	921	0.3464	921	0.3461
Piedra	936	0.347	935	0.3464	934	0.3461
Retardante	0.002	0.0016	0.002	0.0020	0.003	0.0027
Plastificante	0.002	0.0023	0.002	0.0023	0.002	0.0023
	2339	1.000	2337	1.000	2336	1.000

### 4.3 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

#### 4.3.1 Ensayo de temperatura

Este ensayo se realizó siguiendo el procedimiento recomendado en la Norma ASTM C 1064. Se realizó la toma de la temperatura a la muestra representativa (ASTM C172) obtenida de cada tanda realizada. Se colocó un extremo del dispositivo de medición sumergido 75mm o 3 pulgadas dentro de la mezcla durante un tiempo entre 2 a 5 minutos. Además, se tomó la temperatura ambiente con el instrumento limpio y colocándolo al aire durante un tiempo entre 2 a 5 minutos.



Figura 10. Ensayo de temperatura del concreto

Elaboración propia

#### 4.3.2 Ensayo de slump

Este ensayo se realizó según el procedimiento recomendado por la Norma ASTM C 143. Se colocó el molde en una superficie plana donde se mantuvo sujeto el cono durante el llenado



en 3 fases con el mismo volumen de concreto, por fase se varilló 25 veces. Finalmente, se levantó el cono y se realizó la toma de medida del asentamiento del concreto.



Figura 11. Ensayo de slump  
Elaboración propia

#### 4.3.3 Ensayo de peso unitario

Este método de prueba determina la densidad del concreto. El procedimiento que se utilizó fue el de la Norma ASTM C138. Se realizó el llenado de molde en 3 fases del mismo volumen y se varilla 25 veces. Finalmente, se enrasa y se pesa. La fórmula para el cálculo del peso unitario es la siguiente:

$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m}$$

Donde:

Mc: Masa del recipiente lleno de concreto (kg)

Mm: Masa del recipiente (kg)

Vm: Volumen del recipiente ( $m^3$ )



Figura 12. Ensayo de peso unitario

Elaboración propia

#### 4.3.4 Ensayo de contenido de aire

Este ensayo se realizó bajo el procedimiento de la Norma ASTM C231. Después de realizar el pesado del molde con la mezcla se limpió los bordes y se colocó la tapa con el medidor de aire ajustándola con las llaves. Se llena con agua uno de los orificios hasta ver que con el otro extremo salga el agua clara. Se cierran las llaves y se inyecta aire hasta que marque 0% y se suelta para obtener el resultado.

#### 4.3.5 Ensayo de exudación

Es de gran importancia evaluar la influencia del uso de aditivos en la exudación que presentan las mezclas de concreto. Esta propiedad genera patologías en el concreto como descasamiento de la superficie, asentamiento plástico entre otros. Para este ensayo se utilizaron los siguientes instrumentos que cumplen con los requerimientos de la Norma ASTM C232:

- Contenedor cilíndrico para almacenar el mortero de las mezclas (llamadas probetas)
- Pipeta para extraer el agua de exudación
- Probeta graduada de capacidad de 100mL para almacenar el agua de sangrado.

Procedimiento del ensayo:

- Se debe mantener la temperatura ambiente entre 18°C y 24°C.
- Se tamiza la mezcla de concreto mediante la malla N°4 para obtener mortero.
- Por cada tanda se llenarán tres probetas con mortero.
- Se cubrirán las probetas con papel film para evitar que el agua de exudación se evapore.
- Se extraerá de las probetas mediante el uso una pipeta el volumen de agua de exudación cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y posteriormente cada media hora hasta que se detenga la exudación.
- Finalmente, el volumen acumulado será colocado en la probeta graduada para determinar el volumen final de exudación.



Figura 13. Probetas cubiertas con papel film para evitar la evaporación  
Elaboración propia



Figura 14. Extracción del agua de exudación mediante el uso de una pipeta  
Elaboración propia

- Se medirá el volumen acumulado en la probeta graduada.
- Se determinará el área de la superficie de la probeta (descrito en el subcapítulo 6.3)
- Se determina el volumen de exudación por unidad de área de superficie mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{V_1}{A}$$

Donde:

$V_1$ : Volumen de exudación medido en la probeta graduada (mL)

$A$ : Área de exposición del concreto (cm<sup>2</sup>)

Para el alcance de esta investigación se reporta el volumen de exudación por unidad de superficie. Las probetas usadas son de dimensiones 6 pulgadas de diámetro con 6 pulgadas de altura.

#### 4.3.6 Ensayo de tiempo de fraguado

Este ensayo fue realizado bajo la Norma ASTM C 403 “Método de prueba estándar para tiempo de fraguado de mezclas de concreto por penetración de resistencia”. Este método de ensayo es aplicable a mezclas de concreto con asentamiento superior a cero, morteros y lechadas.

Para este ensayo se utilizaron los siguientes instrumentos que cumplen con los requerimientos de la Norma:

- Moldes de probetas de plástico: Se usaron probetas convencionales cortadas una altura de 7 pulgadas para cumplir con las dimensiones mínimas de la Norma de 6 pulgadas de diámetro y 6 pulgadas de altura.
- Agujas de penetración: Están diseñadas según los diámetros especificados por la Norma de 1 1/8”, 13/16”, 9/16”, 3/8”, 1/4” y 3/16”. Cada una de estas agujas poseen una marca a 1 pulgada de altura para que se pueda realizar adecuadamente las mediciones.

- Aparato de carga: Es un dispositivo que mide la fuerza requerida para penetrar con la aguja una determinada distancia en la muestra. En esta tesis se utilizó el Penetrómetro marca ACME.
- Barra de apisonamiento: Es una barra de acero de 5/8" de diámetro, con las puntas redondeadas.
- Pipeta: Debe ser un instrumento adecuado para extraer el agua de exudación de la muestra.
- Termómetro: Instrumento capaz de medir la temperatura de la mezcla de concreto.

#### Procedimiento del ensayo:

- Se obtendrá una mezcla representativa según la ASTM C 172
- Se registra el tiempo de contacto inicial del agua y del cemento
- Se registra el valor de la temperatura ambiente y de la mezcla.
- Se registra los valores de slump y contenido de aire de la mezcla representativa
- Se tamiza la mezcla por la malla N° 4 la cantidad suficiente para llenar los 3 moldes de concreto a una altura mínima de 140 mm. El llenado debe ser siempre dejando como mínimo 10 mm de altura libre por debajo del límite superior.
- Llenar los moldes en una sola capa, la cual debe ser consolidada con la ayuda de una mesa vibradora.
- Cubrir las muestras para evitar la evaporación del agua de exudación.
- Antes de realizar la penetración de las agujas se debe extraer el agua de exudación de la superficie. Para facilitar el trabajo, se puede inclinar la muestra un ángulo de 10° con

la horizontal y dejar que repose por 2 minutos. Finalmente, con la ayuda de una pipeta se debe extraer el agua de exudación.

- Según la ganancia de la resistencia de la mezcla, se debe insertar la aguja correspondiente una profundidad de 1 pulgada a una velocidad constante en un tiempo de  $10 \pm 2$  segundos. Se debe realizar la penetración de cada aguja a una distancia de 1 pulgada de los bordes del molde y espaciadas una distancia mínima de 2 veces el diámetro de la aguja que se está usando. Además, se debe tener cuidado de no realizar las mediciones en superficies perturbadas por mediciones previas.
- Registrar el tiempo en que se realiza cada medida de la fuerza de penetración.
- Realizar por lo menos 6 penetraciones en intervalos de tiempo similares hasta obtener una resistencia mínima de 4000 psi.
- Para cada tanda se preparan tres probetas a ensayar. Se realiza una gráfica de resistencia a la penetración (ordenada) versus tiempo transcurrido (abscisa) de los datos obtenidos para cada probeta y posteriormente se realiza un ajuste exponencial de los puntos tabulados.
- Del procedimiento anterior, se obtiene una ecuación de la siguiente forma:

$$PR = ct^d$$

Donde:

PR: Resistencia a la penetración registrado

t: Tiempo transcurrido desde el contacto del agua y el cemento hasta la medición de la resistencia a la penetración

c,d: constantes de regresión

- Se determina el tiempo fraguado inicial y final reemplazando la resistencia a la penetración con 500psi y 4000psi respectivamente.
- Finalmente, se realiza la comparación de los resultados hallados para las diferentes mezclas realizadas.



Figura 15. Penetrómetro de mortero  
Elaboración propia



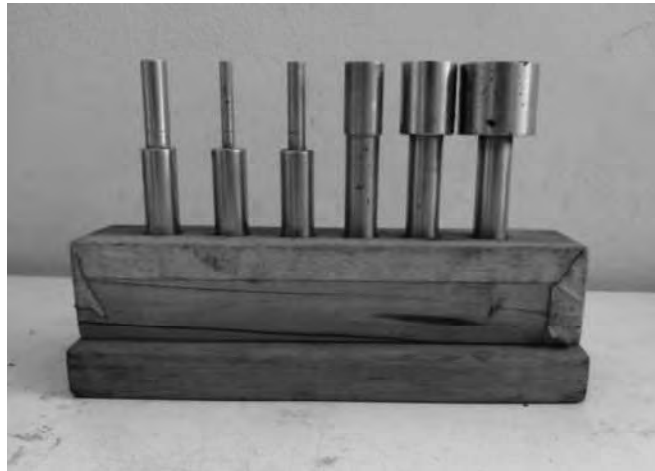


Figura 16. Agujas normalizadas para realizar el ensayo de penetración

Elaboración propia



Figura 17. Probeta después de la penetración de la primera aguja

Elaboración propia

#### **4.4 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

##### **4.4.1 Ensayo de resistencia a la compresión**

Este ensayo se realizó bajo el procedimiento recomendado por la Norma ASTM C39. Se llenó los moldes de 6”x12” en 3 capas del mismo volumen y se varillaron 25 veces. Se enraso, se curó por 28 días y se realizó el ensayo de compresión. Se evaluará los valores de resistencia a compresión axial obtenidos a 28 días de curado de todas las mezclas de concreto. Se evaluará la influencia del uso de los diferentes aditivos en la resistencia de las probetas, los cuales serán comparados con la mezcla Patrón.



## CAPÍTULO 5

### PRESENTACION DE RESULTADOS

Se presentan los resultados de laboratorio de las 2 tandas realizadas en mismo día de los 4 diseños de mezclas realizados por cada etapa y por cada relación a/c.

#### 5.1 DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LA ETAPA 1

Tabla 11. Datos de caracterización del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)–dosis media de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.6	1	21.4	23.7	4.2	7 1/4"	0	2.250
0.6	2	19.1	21.2	4.3	7 1/2"	0	2.249
0.7	1	17.6	22.4	3.7	6 3/4"	0	2.283
0.7	2	19.9	21.6	3.7	7 1/4"	0	2.295

Tabla 12. Datos de caracterización del diseño de mezcla 2 (DM2)–dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.6	1	19.1	21.4	4.6	7 1/2"	10	2.266
0.6	2	19.4	21.4	4.4	8"	10	2.277
0.7	1	18.3	20.5	4.3	8"	24	2.240
0.7	2	18.9	21.2	4	8"	22	2.247

Tabla 13. Datos de caracterización del diseño de mezcla 3(DM3)–1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.6	1	18.1	21.4	5.6	7 "	32	2.247
0.6	2	19.4	21.4	5.8	7 3/4 "	30	2.240
0.7	1	21.3	21.7	5.3	8"	33	2.235
0.7	2	22.2	22.0	5.4	7 1/2"	34	2.230

Tabla 14. Datos de caracterización del diseño de mezcla 4(DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.6	1	17.5	21.1	7.2	9 "	70	2.208
0.6	2	18.7	20.9	7.5	9 3/4"	67	2.186
0.7	1	20	20.7	7.2	9 1/4"	85	2.219
0.7	2	20	20.6	7.4	9 1/2"	92	2.209

## 5.2 DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LA ETAPA 2

Tabla 15. Datos de caracterización del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.7	1	27.1	30.1	4	7 1/2"	13	2.328
	2	26.7	30.5	5	8"	18	2.290

Tabla 16. Datos de caracterización del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.7	1	29	30.7	5.1	9"	23	2.254
	2	28.1	29.7	5	9 1/4"	22	2.253

Tabla 17. Datos de caracterización del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.7	1	27.1	29.6	7.4	9 3/4"	35	2.195
	2	27	29.7	7.2	9 1/2"	45	2.198

Tabla 18. Datos de caracterización del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante

a/c	Tanda	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU
0.7	1	30.3	31.5	8	10	90	2.110
	2	29.7	30.2	8.5	10 1/4	99	2.189

### 5.3 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 1 DE A/C = 0.6

#### 5.3.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1

Tabla 19. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	11	30	0.00	0.00	-	-	-
85	90	90	17	28	5.97	358	13/16	88.3	1.172
150	130	140	18	22	6.87	412	9/16	140.0	3.881
97	120	104	18	52	7.37	442	5/16	107.0	9.618
110	122	106	19	31	8.02	481	1/4	112.7	15.823
150	98	100	20	7	8.62	517	3/16	116.0	28.964
130	142	138	20	26	8.93	536	3/16	126.3	34.126

Tabla 20. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	11	6	0.00	0.00	-	-	-
162	158	155	17	47	6.68	401	13/16	158.3	2.103
142	120	130	18	11	7.08	425	9/16	130.7	3.622
100	130	125	18	40	7.57	454	3/8	118.3	7.384
100	90	105	19	10	8.07	484	1/4	114.3	13.812
92	88	85	19	44	8.63	518	3/16	88.3	22.057
115	114	110	20	10	9.07	544	3/16	113.0	28.217

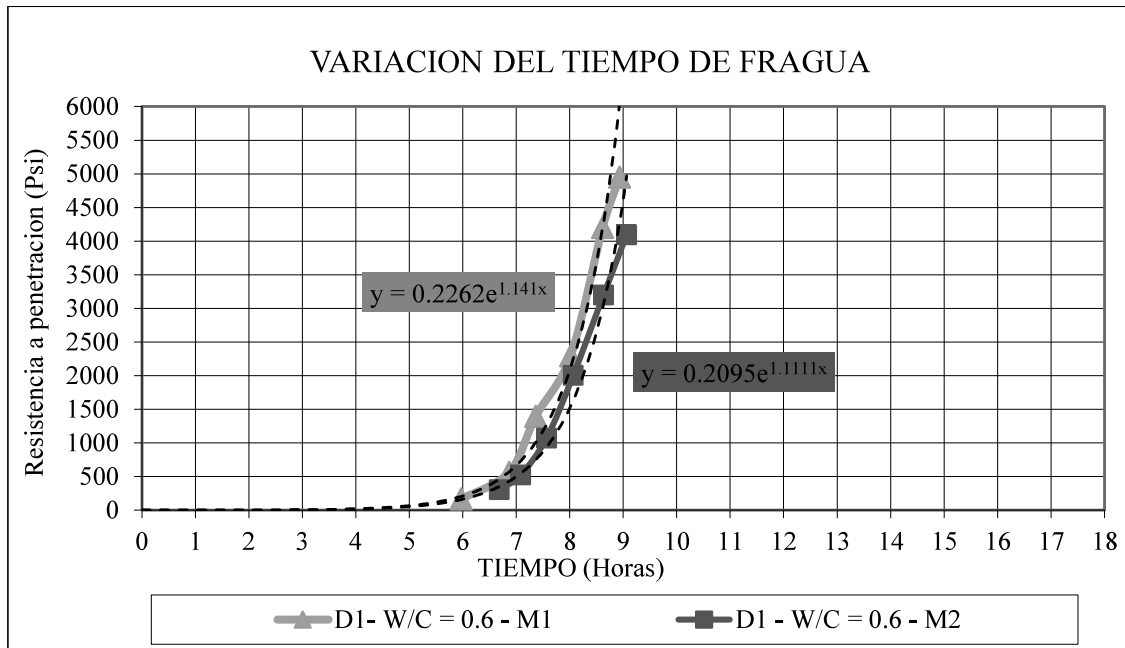


Figura 18. Variación en el tiempo de fraguado del diseño de mezcla Patrón de a/c = 0.6

Elaboración propia

### 5.3.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2

Tabla 21. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 (DM2)- dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	12	17	0.00	-	-	-	
56	158	60	18	25	6.13	368	13/16	91	1.213
100	110	110	18	55	6.63	398	9/16	107	2.958
100	95	105	19	35	7.30	438	5/16	129	8.989
100	148	142	20	20	8.05	483	1/4	130	18.257
108	113	100	21	10	8.88	533	3/16	107	26.718
150	148	148	21	50	9.55	573	3/16	152	37.123

Tabla 22. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)-dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	14	17	0.00				
127	126	130	20	55	6.63	398	13/16	127.7	1.696
156	170	170	21	30	7.22	433	9/16	165.3	4.585
110	90	105	22	0	7.72	463	5/16	101.7	9.139
92	88	88	22	20	8.05	483	1/4	89.3	12.548
70	80	72	22	50	8.55	513	3/16	74.0	18.478
110	119	112	23	20	9.05	543	3/16	113.7	28.386

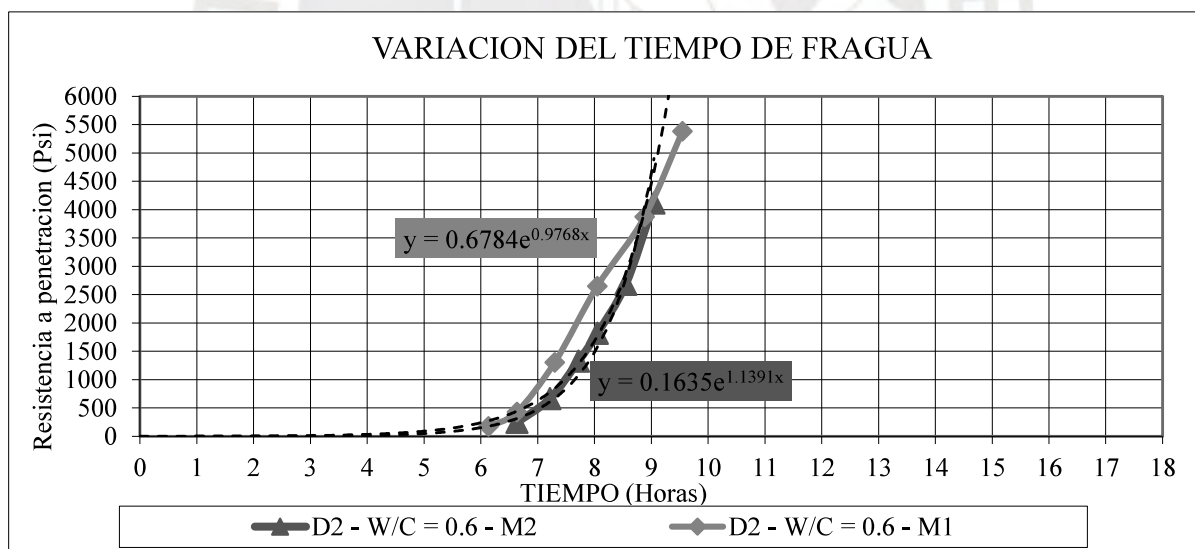


Figura 19. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 de a/c = 0.6

Elaboración propia



### 5.3.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3

Tabla 23. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	12	17	0.00				
120	140	122	26	5	13.80	828	13/16	127	1.696
102	100	118	26	30	14.22	853	9/16	107	2.958
80	90	89	26	55	14.63	878	5/16	86	7.763
98	104	80	27	26	15.15	909	1/4	94	13.203
78	90	92	27	49	15.53	932	3/16	87	21.643
135	128	140	28	15	15.97	958	3/16	134	33.543

Tabla 24. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)-1.5 dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	13	14	0.00				
170	172	146	26	26	13.20	792	13/16	162.7	2.165
109	118	106	26	50	13.60	816	9/16	111.0	3.079
110	96	80	27	20	14.10	846	5/16	95.3	8.570
92	108	106	27	45	14.52	871	1/4	102.0	14.327
80	70	80	28	20	15.10	906	3/16	76.7	19.147
135	129	130	28	55	15.68	941	3/16	131.3	32.798

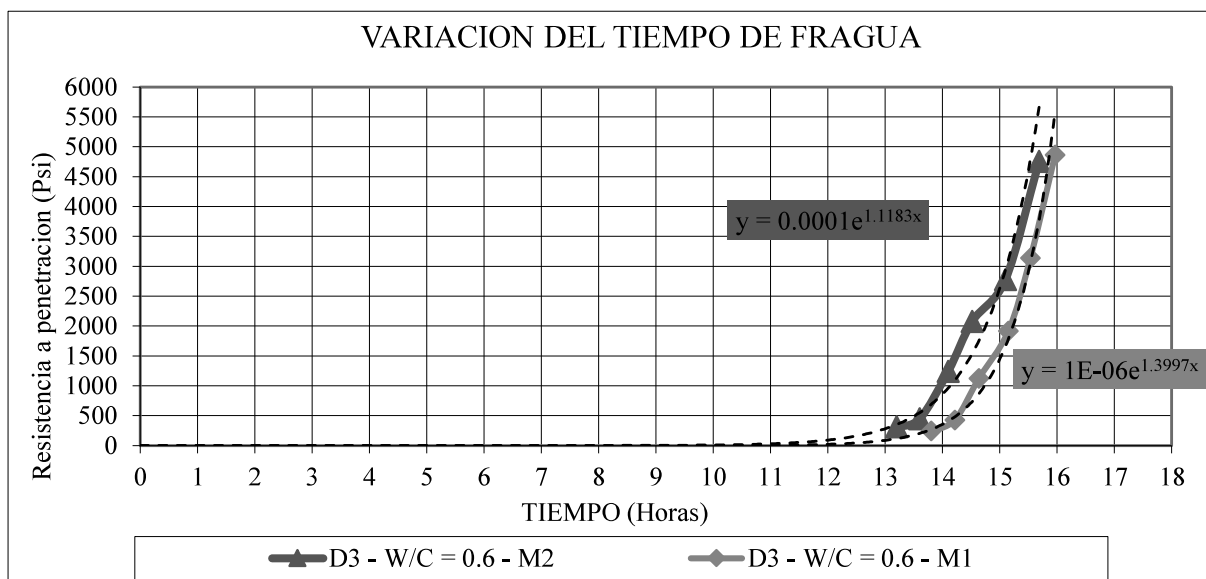


Figura 20. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 de  $a/c = 0.6$   
Elaboración propia

#### 5.3.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4

Tabla 25. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)-dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Díámetro de aguja	Penetración	Resistencia
M1	M2	M3	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
			9	2	0.00				
82	90	82	27	44	18.70	1122	1 1/8	85	0.586
156	175	160	28	25	19.38	1163	13/16	164	2.179
120	116	156	29	0	19.97	1198	9/16	131	3.627
70	78	70	30	20	21.30	1278	5/16	73	6.529
100	80	70	31	15	22.22	1333	1/4	83	11.707
91	84	92	32	0	22.97	1378	3/16	89	22.222
152	142	138	32	55	23.88	1433	3/16	144	35.956

Tabla 26. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4 (DM4)-dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	10	25	0.00				
112	150	84	30	56	20.52	1231	1 1/8	115.3	0.800
161	166	68	31	26	21.02	1261	13/16	131.7	1.751
96	100	120	31	56	21.52	1291	9/16	105.3	2.923
82	94	100	33	25	23.00	1380	5/16	92	8.274
72	91	80	33	55	23.50	1410	1/4	81	11.376
74	78	68	34	20	23.92	1435	3/16	73.3	18.312
145	140	136	34	55	24.50	1470	3/16	140.3	35.046

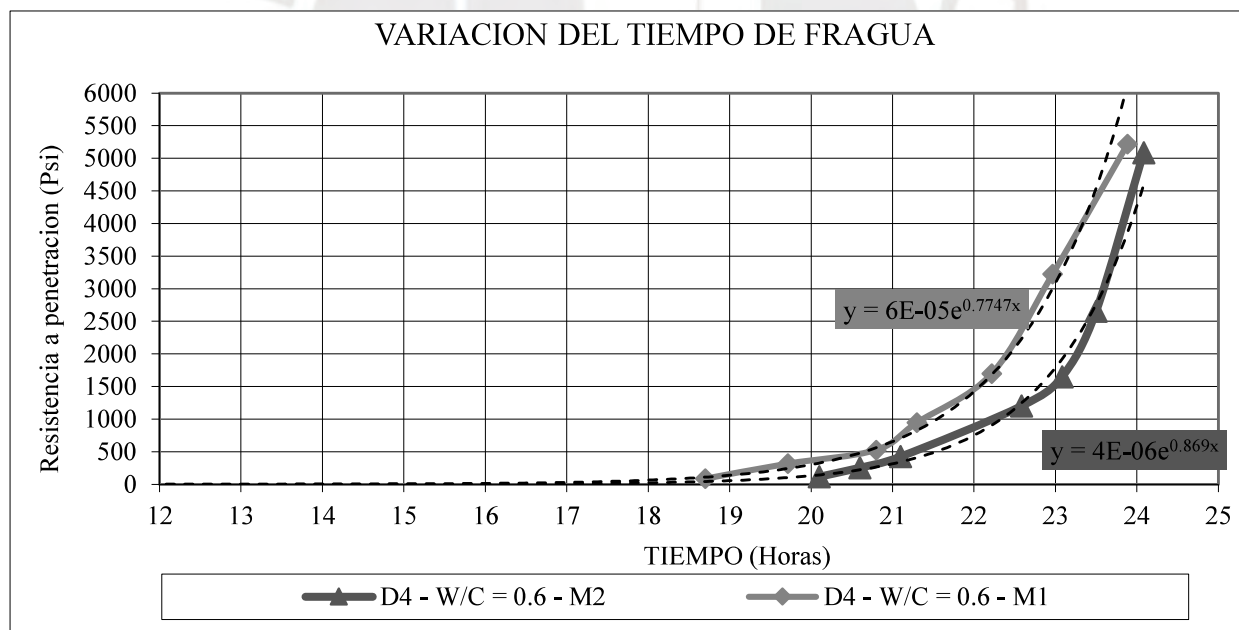


Figura 21. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 4 de a/c = 0.6

Elaboración propia

## 5.4 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 1 A/C = 0.7

### 5.4.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1

Tabla 27. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)–dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	11	10	0.00	-	-	-	-
89	78	84	17	20	6.17	370	1 1/8	83.7	0.579
112	116	122	18	0	6.83	410	13/16	116.7	1.551
152	162	148	18	37	7.45	447	9/16	154.0	4.275
138	138	140	19	45	8.58	515	5/16	138.7	12.466
138	138	140	20	21	9.18	551	1/4	138.7	19.478
136	140	126	20	55	9.75	585	3/16	134	33.460

Tabla 28. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)–dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	9	5	0.00				
101	110	100	15	50	6.75	405	13/16	103.7	1.379
122	132	128	16	35	7.50	450	9/16	127.3	3.530
136	100	82	16	58	7.88	473	3/8	106.0	6.619
98	94	102	17	23	8.30	498	1/4	111.3	13.765
92	80	85	17	55	8.83	530	3/16	90.7	21.391
132	142	138	18	55	9.83	590	3/16	137.3	34.295

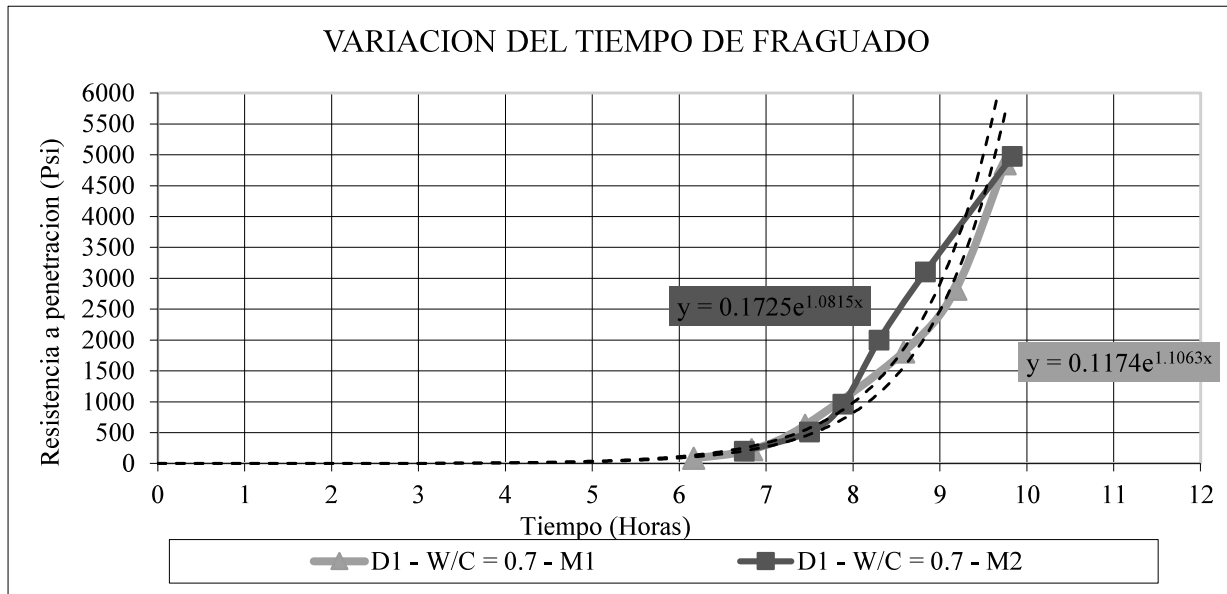


Figura 22. variación en el tiempo de fraguado de la mezcla 1 con a/c = 0.7

Elaboración propia

#### 5.4.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2

Tabla 29. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)–dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja Pulg	Penetración LbF	Resistencia MPa.
Muestras	Muestras	Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos			
M1	M2	M3	9	44	0.00				
106	74	90	17	4	7.33	440	13/16	90	1.200
112	70	72	17	35	7.85	471	9/16	85	2.351
98	60	72	18	5	8.35	501	5/16	77	6.895
78	64	73	18	35	8.85	531	1/4	72	10.066
84	80	82	19	15	9.52	571	3/16	82	20.477
118	110	102	19	40	9.93	596	3/16	110	27.469

Tabla 30. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 (DM2)–dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	10	18	0.00				
97	80	100	17	30	7.20	432	1 1/8	92.3	0.641
140	119	140	18	5	7.78	467	13/16	133.0	1.772
120	110	112	18	35	8.28	497	9/16	114.0	3.165
76	88	82	19	5	8.78	527	5/16	82.0	7.370
82	96	85	19	35	9.28	557	1/4	87.7	12.314
136	102	128	19	56	9.63	578	3/16	122.0	30.468

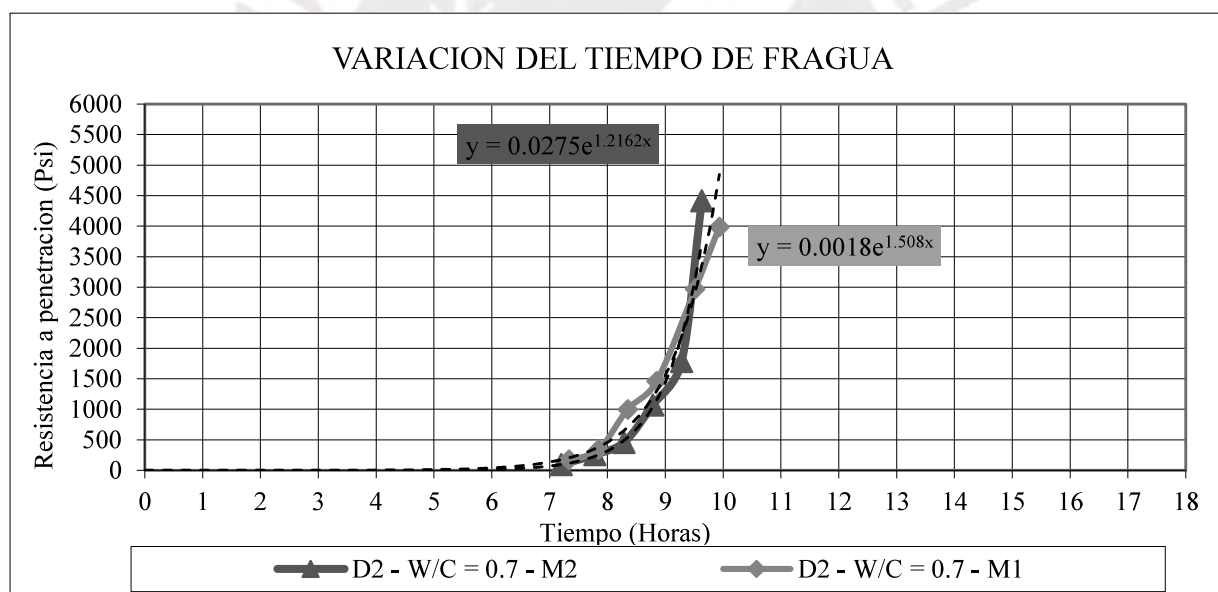


Figura 23. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 con a/c = 0.7

Elaboración propia

### 5.4.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3

Tabla 31. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)–1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	8	20	0.00				
130	150	148	20	20	12.00	720	13/16	142.7	1.896
128	138	158	20	57	12.62	757	9/16	141.3	3.923
128	142	170	21	45	13.42	805	5/16	146.7	13.183
82	120	98	21	59	13.65	819	1/4	100.0	14.045
74	70	72	22	25	14.08	845	3/16	72.0	17.982
118	114	112	23	10	14.83	890	3/16	114.7	28.634

Tabla 32. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)–1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	10	19	0.00				
115	121	116	22	8	11.82	709	13/16	117.3	1.558
115	128	120	22	40	12.35	741	9/16	121.0	3.358
90	114	94	23	15	12.93	776	3/8	99.3	6.198
102	106	90	23	45	13.43	806	1/4	99.3	13.955
94	92	86	24	5	13.77	826	3/16	90.7	22.642
118	112	120	24	30	14.18	851	3/16	116.7	29.130

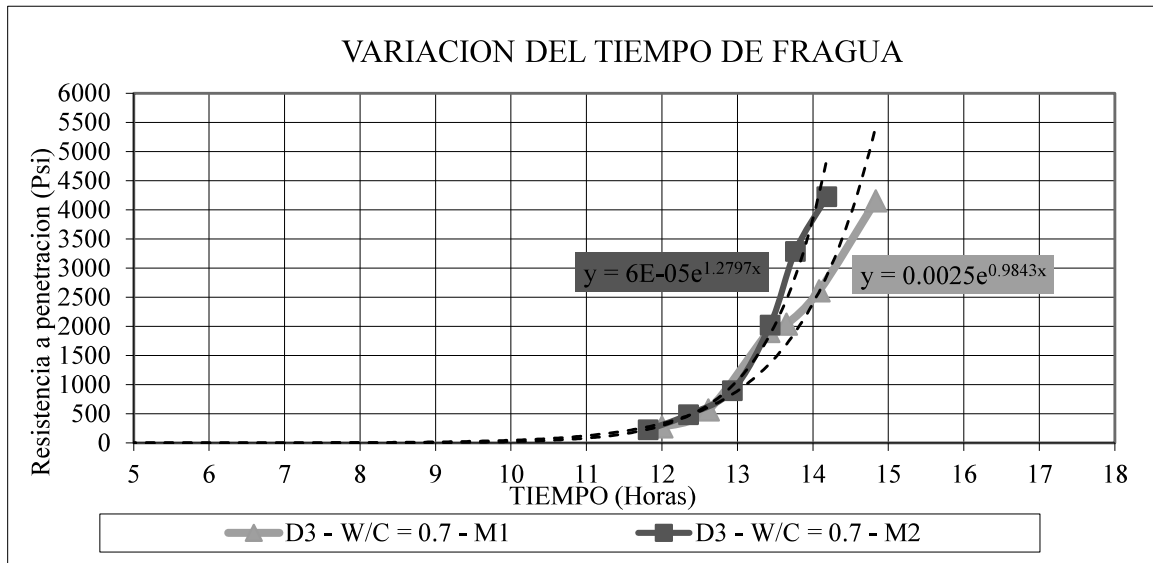


Figura 24. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con a/c = 0.7  
Elaboración propia

#### 5.4.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4.

Tabla 33. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)–2 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras	Hora	Mínutos	Horas	Mínutos	Pulg	LbF	MPa.		
M1	M2	M3	10	35	0.00				
108	70	74	33	0	22.42	1345	13/16	84	1.117
130	70	110	33	33	22.97	1378	9/16	103.3	2.868
100	70	80	35	45	25.17	1510	5/16	83.3	7.495
160	82	60	36	17	25.70	1542	1/4	100.7	14.141
92	82	104	37	26	26.85	1611	3/16	92.7	23.139
132	124	154	38	0	27.42	1645	3/16	136.7	34.129



Tabla 34. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4(DM4)–2 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	10	55	0.00				
150	130	120	35	0	24.08	1445	13/16	133.3	1.772
104	182	80	35	40	24.75	1485	9/16	122.0	3.385
76	66	58	36	13	25.30	1518	3/8	66.7	4.164
72	74	68	37	10	26.25	1575	1/4	71.3	10.018
74	82	70	37	40	26.75	1605	3/16	75.3	18.809
150	126	142	38	10	27.25	1635	3/16	139.3	34.791

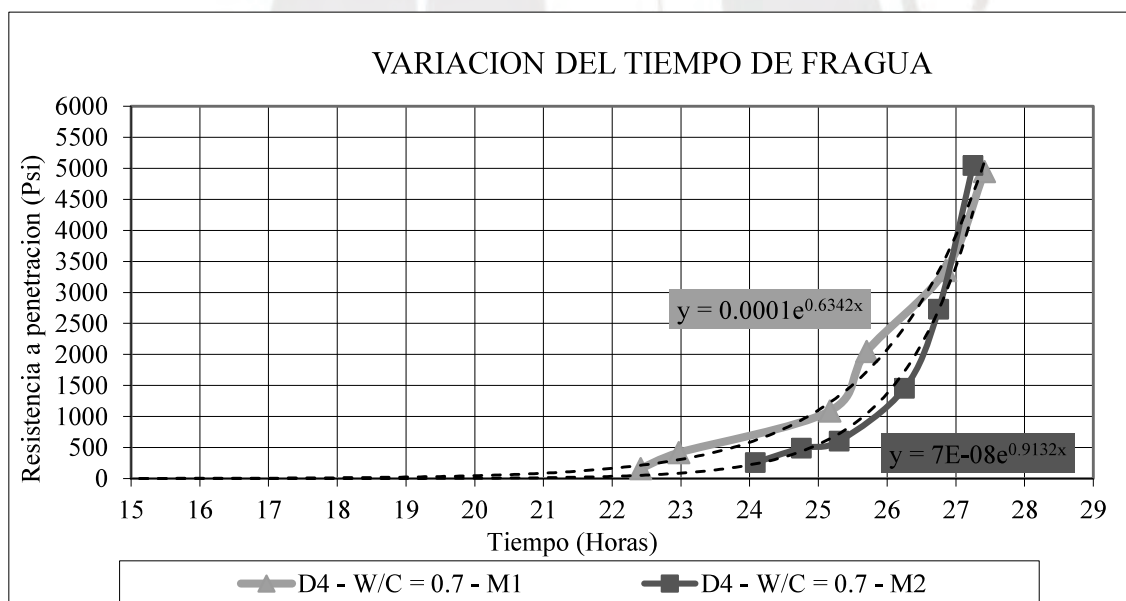


Figura 25. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con a/c = 0.7

Elaboración propia

Tabla 35. Resumen de tiempo de fraguado inicial y final de la etapa 1

a/c	Diseño de mezcla/ Tanda	Tiempo de fraguado inicial (h:m)	Tiempo de fraguado final (h:m)
0.6	DM1 (PATRÓN)/1	06:46	08:35
	DM1 (PATRÓN)/2	07:06	08:52
	DM2/1	06:46	08:53
	DM2/2	07:03	08:52
	DM3/1	14:19	15:48
	DM3/2	13:48	15:39
	DM4/1	20:34	23:15
	DM4/2	21:47	24:11
0.7	DM1 (PATRÓN)/1	07:33	09:26
	DM1 (PATRÓN)/2	07:22	09:18
	DM2/1	08:04	09:46
	DM2/2	08:19	09:41
	DM3/1	12:24	14:31
	DM3/2	12:27	14:05
	DM4/1	24:19	27:36
	DM4/2	24:51	27:07

## 5.5 ENSAYO DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LA ETAPA 2 A/C = 0.7

### 5.5.1 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 1

Tabla 36. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)-dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa.
M1	M2	M3	10	27	0.00				
134	200	200	15	33	5.10	306	1 1/8	178	1.234
120	150	146	15	38	5.18	311	13/16	139	1.843
160	180	186	16	5	5.63	338	9/16	175	4.864
142	144	130	16	20	5.88	353	3/8	139	8.656
105	106	90	16	35	6.13	368	1/4	100	14.092
80	90	82	16	56	6.48	389	3/16	84	20.975
110	110	150	17	16	6.82	409	3/16	123	30.797

Tabla 37. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 1 (DM1 - PATRÓN)–dosis media de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
M1	M2	M3	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	MPa
M1	M2	M3	15	15	0.00				
110	115	130	19	46	4.52	271	1 1/8	118.3	0.821
80	80	152	20	20	5.08	305	13/16	104.0	1.383
115	98	93	20	45	5.50	330	9/16	102.0	2.830
85	81	92	21	6	5.85	351	3/8	86.0	5.369
83	75	77	21	35	6.33	380	1/4	78.3	11.003
78	79	83	22	5	6.83	410	3/16	80.0	19.977
115	110	120	22	20	7.08	425	3/16	115.0	28.716

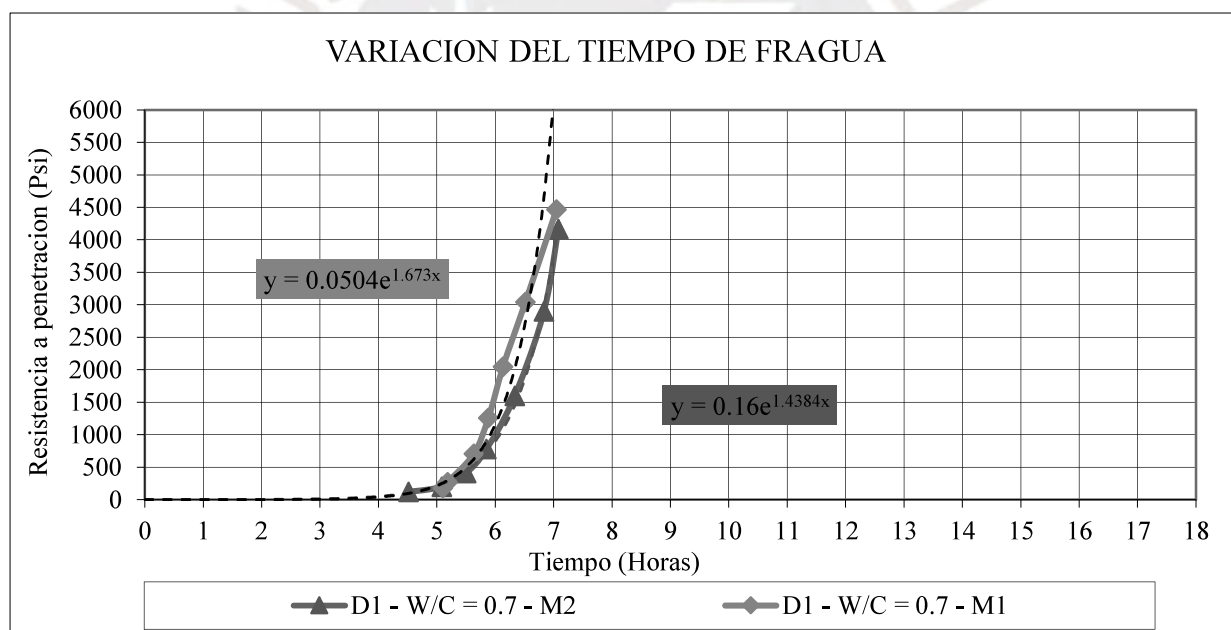


Figura 26. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 1 con a/c = 0.7

Elaboración propia

### 5.5.2 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 2

Tabla 38. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 2 (DM2)–dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
M1	M2	M3	11	1	0.00				
100	118	92	16	15	5.23	314	1 1/8	103	0.717
148	114	124	16	42	5.68	341	13/16	129	1.711
150	120	142	17	0	5.98	359	9/16	137	3.810
124	98	98	17	20	6.32	379	3/8	107	6.659
110	98	96	17	40	6.65	399	1/4	101	14.233
92	80	96	18	1	7.00	420	3/16	89	22.307
144	150	144	18	24	7.38	443	3/16	146	36.457

Tabla 39. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 2 2 (DM2)–dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
M1	M2	M3	11	50	0.00				
140	142	143	16	54	5.07	304	1 1/8	141.7	0.983
92	118	105	17	10	5.33	320	13/16	105.0	1.396
102	110	112	17	30	5.67	340	9/16	108.0	2.996
96	110	110	17	55	6.08	365	3/8	105.3	6.576
96	106	110	18	31	6.68	401	1/4	104.0	14.608
80	104	104	18	50	7.00	420	3/16	96.0	23.972
120	122	116	19	6	7.27	436	3/16	119.3	29.798

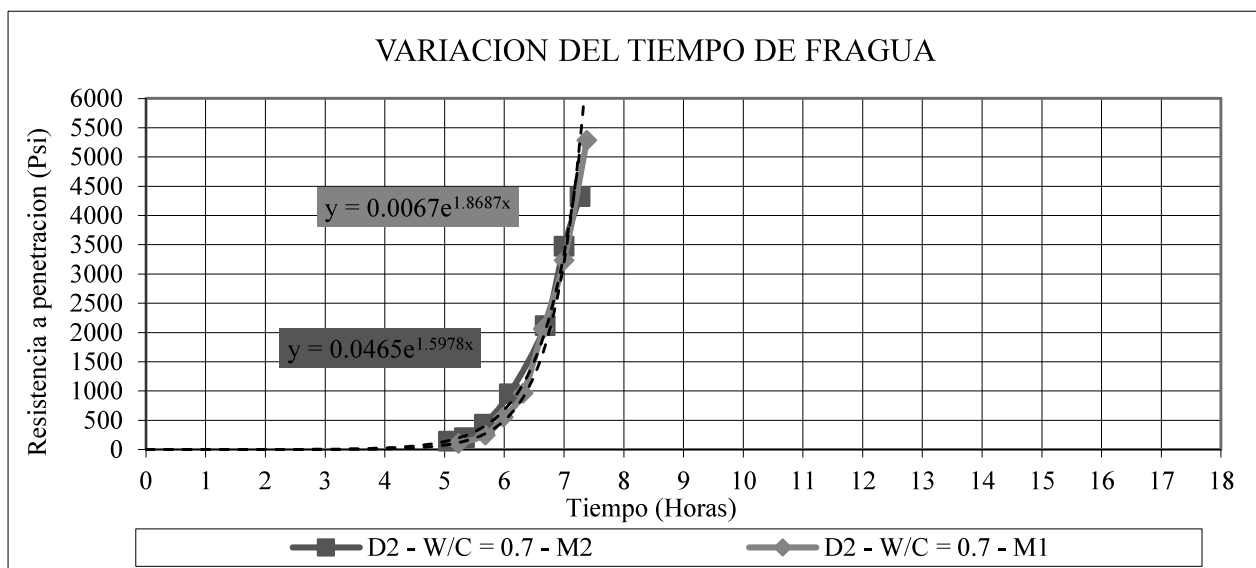


Figura 27. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 2 con  $a/c = 0.7$   
Elaboración propia

### 5.5.3 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 3

Tabla 40. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 3 (DM3)—1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
M1	M2	M3	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
M1	M2	M3	10	44	0.00				
110	98	94	17	53	7.15	429	1 1/8	101	0.698
170	170	160	18	19	7.58	455	13/16	167	2.216
120	148	158	18	28	7.73	464	9/16	142	3.940
100	100	120	18	45	8.02	481	3/8	107	6.659
115	120	130	19	15	8.52	511	1/4	122	17.089
142	100	150	19	37	8.88	533	3/16	131	32.629
158	170	150	19	55	9.18	551	3/16	159	39.787

Tabla 41. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 3 (DM3)–1.5 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
M1	M2	M3	Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
133	130	178	18	6	7.03	422	1 1/8	147.0	1.020
86	144	86	18	21	7.28	437	13/16	105.3	1.401
134	148	129	18	42	7.63	458	9/16	137.0	3.801
87	94	100	19	18	8.23	494	3/8	93.7	5.847
93	84	88	19	41	8.62	517	1/4	88.3	12.407
88	96	110	20	5	9.02	541	3/16	98.0	24.471
162	150	152	20	30	9.43	566	3/16	154.7	38.622

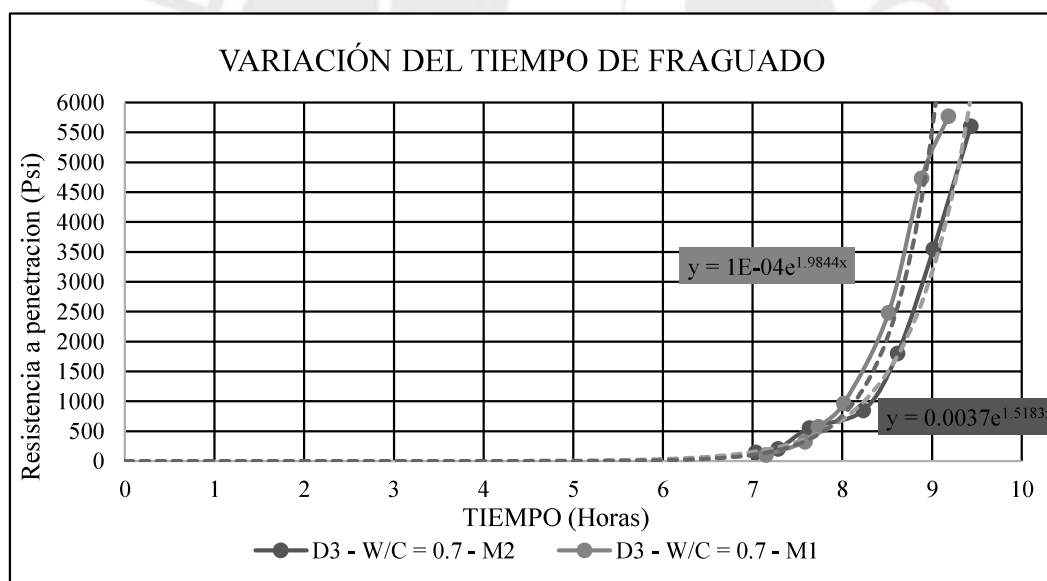


Figura 28. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 3 con a/c = 0.7

Elaboración propia

#### 5.5.4 Ensayo del tiempo de fraguado del diseño de mezcla 4

Tabla 42. Resistencia a la penetración de la tanda 1 del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
M1	M2	M3	10	58	0.00				
133	130	178	18	44	7.77	466	1 1/8	147.0	1.020
86	144	86	18	49	7.85	471	13/16	105.3	1.401
134	148	129	19	14	8.27	496	9/16	137.0	3.801
87	94	100	19	28	8.50	510	3/8	93.7	5.847
93	84	88	19	50	8.87	532	1/4	88.3	12.407
88	96	110	20	26	9.47	568	3/16	98.0	24.471
162	150	152	20	40	9.70	582	3/16	154.7	38.622

Tabla 43. Resistencia a la penetración de la tanda 2 del diseño de mezcla 4 (DM4)-2 veces dosis máxima de aditivo retardante

Fuerza de penetración (LbF)			Hora de medición		Tiempo transcurrido		Diámetro de aguja	Penetración	Resistencia
Muestras			Hora	Minutos	Horas	Minutos	Pulg	LbF	Mpa.
M1	M2	M3	12	33	0.00				
140	142	143	19	46	7.22	433	1 1/8	141.7	0.983
92	118	105	20	20	7.78	467	13/16	105.0	1.396
102	110	112	20	45	8.20	492	9/16	108.0	2.996
96	110	110	21	6	8.55	513	3/8	105.3	6.576
96	106	110	21	35	9.03	542	1/4	104.0	14.608
80	104	104	22	5	9.53	572	3/16	96.0	23.972
120	122	116	22	20	9.78	587	3/16	119.3	29.798

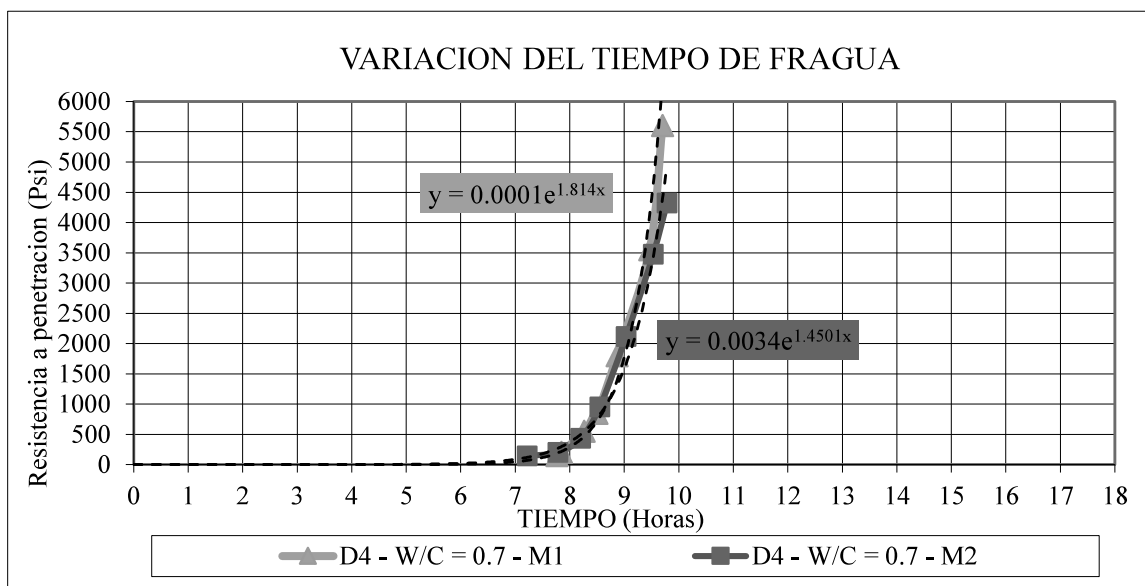


Figura 29. Variación en el tiempo de fraguado diseño de mezcla 4 con a/c = 0.7

Elaboración propia

Tabla 44. Resumen de tiempo de fraguado inicial y final de la etapa 2

a/c	Diseño de mezcla/ Tanda	Tiempo de fraguado inicial (h:m)	Tiempo de fraguado final (h:m)
0.7	DM1 (Patrón)/1	05:30	06:45
	DM1 (Patrón)/2	05:36	07:03
	DM2/1	06:00	07:07
	DM2/2	05:49	07:07
	DM3/1	07:46	08:49
	DM3/2	07:47	09:09
	DM4/1	08:30	09:39
	DM4/2	08:12	09:38

## 5.6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXUDACIÓN DE LA ETAPA 1

Tabla 45. Volumen de exudación por unidad de superficie de las mezclas

a/c	Diseño de Mezcla	Exudación (ml)	Área de superficie (cm <sup>2</sup> )	Vol. exudación por unidad de área de superficie (ml/cm <sup>2</sup> )
0.6	1 (Patrón)	0.0	176.71	0.00
	2	10.7	176.71	0.06
	3	30.3	176.71	0.17
	4	66.7	176.71	0.38
0.7	1 (Patrón)	0.0	176.71	0.00
	2	24.7	176.71	0.14
	3	34.0	176.71	0.19
	4	87.0	176.71	0.49



## 5.7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE EXUDACIÓN DE LA ETAPA 2

Tabla 46. Volumen de exudación por unidad de superficie de las mezclas

a/c	Diseño de mezcla	Exudación (ml)	Área de superficie (cm <sup>2</sup> )	Vol. exudación por unidad de área de superficie (ml/cm <sup>2</sup> )
0.7	1 (Patrón)	17.67	176.71	0.10
	2	25.00	176.71	0.14
	3	36.67	176.71	0.21
	4	101.33	176.71	0.57

## 5.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ETAPA 1

### 5.8.1 Resistencia a la compresión de los ensayos con relación a/c = 0.6

Tabla 47. Resistencia a la compresión a/c = 0.6

Fecha	Diseño de Mezcla	Tanda	Edad	P 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	P 2 (kg/cm <sup>2</sup> )	P 3 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> requerido (kg/cm <sup>2</sup> )
17/10/2019	1 (Patrón)	1	28	322	331	321	325	280
17/10/2019		2	28	336	338	332	335	280
22/10/2019	2	1	28	352	347	348	349	280
22/10/2019		2	28	304	289	299	297	280
22/10/2019	3	1	28	310	312	310	311	280
22/10/2019		2	28	311	301	344	319	280
24/10/2019	4	1	28	251	264	245	253	280
24/10/2019		2	28	273	283	275	277	280

### 5.8.2 Resistencia a la compresión de los ensayos con relación a/c = 0.7

Tabla 48. Tabla de resistencia a la compresión a/c = 0.7

Fecha	Diseño de la mezcla	Tanda	Edad	P 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	P2 (kg/cm <sup>2</sup> )	P 3 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> requerido (kg/cm <sup>2</sup> )
15/10/2019	1 (Patrón)	1	28	248	254	256	253	210
15/10/2019		2	28	254	261	270	262	210
4/11/2019	2	1	28	229	231	235	232	210
4/11/2019		2	28	244	233	235	237	210
23/10/2019	3	1	28	243	239	242	241	210
23/10/2019		2	28	244	231	231	235	210
5/11/2019	4	1	28	213	224	202	213	210
5/11/2019		2	28	218	206	211	212	210

### 5.9 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA ETAPA 2

Tabla 49. Tabla de resistencia a la compresión a/c = 0.7

Fecha	Diseño de la mezcla	Tanda	Edad	P 1 (kg/cm <sup>2</sup> )	P 2 (kg/cm <sup>2</sup> )	P 3 (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> requerido (kg/cm <sup>2</sup> )
25/02/2020	1 (Patrón)	1	213	288	290	291	290	210
25/02/2020		2	213	295	268	280	281	210
26/02/2020	2	1	212	280	292	280	284	210
26/02/2020		2	212	295	289	283	289	210
27/02/2020	3	1	211	264	271	253	263	210
27/02/2020		2	211	269	272	262	268	210
28/02/2020	4	1	210	261	232	252	248	210
28/02/2020		2	210	255	267	227	250	210

## CAPITULO 6

### RESUMEN DE LOS RESULTADOS

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos en la presente investigación se resume en tablas los valores obtenidos de los ensayos realizados. Como se comentó anteriormente debido a la cantidad de ensayos solo se logró realizar 2 tandas por día de un mismo diseño de mezcla. La tercera tanda siempre se realizó un día después, la cual presentará valores de laboratorio diferentes a las otras 2 tandas realizadas en un mismo día. Por esta razón se decidió eliminar la tercera tanda para cada diseño de mezcla. Las mezclas de concreto con aditivos retardantes son susceptibles a los cambios de temperatura ambiente por lo que es normal observar variaciones en los resultados de laboratorio obtenidos.

#### 6.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS FINALES

Se muestra las tablas resúmenes de los resultados obtenidos de las 2 tandas que se realizaron un mismo día para los cuatro diseños de mezclas que se evaluaron en cada etapa.

##### 6.1.1 Resumen de los resultados de la etapa 1 $a/c=0.6$

Tabla 50. Tabla resumen de los resultados de la etapa 1  $a/c=0.6$

<b>a/c=0.6</b>	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla/ # de tanda									
DM1(Patrón)1	21.4	23.7	4.2	7 1/4"	0	2.250	06:46	08:35	325
DM1(Patrón)2	19.1	21.2	4.3	7 1/2"	0	2.249	07:06	08:52	335
DM2/1	19.1	21.4	4.6	7 1/2"	10	2.266	06:46	08:53	349
DM2/2	19.4	21.4	4.4	8"	10	2.277	07:03	08:52	297
DM3/1	18.1	21.4	5.6	7"	32	2.247	14:19	15:48	311
DM3/2	19.4	21.4	5.8	7 3/4"	30	2.240	13:48	15:39	319
DM4/1	17.5	21.1	7.2	9"	70	2.208	20:34	23:15	253
DM4/2	18.7	20.9	7.5	8 3/4"	67	2.186	21:47	24:11	277

### 6.1.2 Resumen de los resultados de la etapa 1 a/c=0.7

Tabla 51. Tabla resumen de los resultados de la etapa 1 a/c=0.7

<b>a/c =0.7</b>	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla/ # de tanda									
DM1(Patrón)/1	17.6	22.4	3.7	6 3/4"	0	2.283	07:33	09:26	253
DM1(Patrón)/2	19.9	21.6	3.7	7 1/4"	0	2.295	07:22	09:18	262
DM2/1	18.3	20.5	4.3	8"	24	2.240	08:04	09:46	232
DM2/2	18.9	21.2	4	8"	22	2.247	08:19	09:41	237
DM3/1	21.3	21.7	5.3	8"	33	2.235	12:24	14:31	241
DM3/2	22.2	22	5.4	7 1/2"	34	2.230	12:27	14:05	235
DM4/1	20	20.7	7.2	9 1/4"	85	2.219	24:19	27:36	213
DM4/2	20	20.6	7.4	9 1/2"	92	2.209	24:51	27:07	212

### 6.1.3 Resumen de los resultados de la etapa 2 a/c=0.7

Tabla 52. Tabla resumen de los resultados de la etapa 2 a/c=0.7

<b>a/c=0.7</b>	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla/ # de tanda									
DM1(Patrón)/1	27.1	30.1	4	7 1/2"	13	2.328	05:30	06:45	290
DM1(Patrón)/2	26.7	30.5	5	8"	18	2.290	05:36	07:03	281
DM2/1	29	30.7	5.1	9"	23	2.254	06:00	07:07	284
DM2/2	28.1	29.7	5	9 1/4"	22	2.253	05:49	07:07	289
DM3/1	27.1	29.6	7.4	9 3/4"	35	2.195	07:46	08:49	263
DM3/2	27	29.7	7.2	9 1/2"	45	2.198	07:47	09:09	268
DM4/1	30.3	31.5	8	10"	90	2.110	08:30	09:39	248
DM4/2	29.7	30.2	8.5	10 1/4"	99	2.189	08:12	09:38	250

## 6.2 RESUMEN DE LOS RESULTADOS COMPLETOS

### 6.2.1 Resumen de los resultados completos de la etapa 1 a/c=0.6

Se muestran las tablas resúmenes de los resultados obtenidos de las 3 tandas que se realizaron para los cuatro diseños de mezclas que se evaluaron en cada etapa. La tercera tanda que se realizó en un día diferente se eliminó por presentar resultados atípicos con respecto a las otras 2 tandas, los cuales se muestran en color rojo en las tablas.

Tabla 53. Tabla completa de resultados de la etapa 1 a/c=0.6

<b>a/c=0.6</b>	Temperatura ambiente	Temperatura de la mezcla	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla/ # de tanda	(°C)	(°C)							
DM1(Patrón)/1	21.4	23.7	4.2	7 1/4"	0	2.250	06:46	08:35	325
DM1(Patrón)/2	19.1	21.2	4.3	7 1/2"	0	2.249	07:06	08:52	335
DM1(Patrón)/3	19.6	22.3	4.2	7 1/2"	0	2.242	06:26	08:05	324
DM2/1	19.1	21.4	4.6	7 1/2"	10	2.266	06:46	08:53	349
DM2/2	19.4	21.4	4.4	8"	10	2.277	07:03	08:52	297
DM2/3	19.4	21.2	4.5	8"	12	2.294	07:54	09:31	293
DM3/1	18.1	21.4	5.6	7"	32	2.247	14:19	15:48	311
DM3/2	19.4	21.4	5.8	7 3/4"	30	2.240	13:48	15:39	319
DM3/3	22.2	21.3	5.5	8"	29	2.266	12:21	14:48	274
DM4/1	17.5	21.1	7.2	9"	70	2.208	20:34	23:15	253
DM4/2	18.7	20.9	7.5	8 3/4"	67	2.186	21:47	24:11	277
DM4/3	18.8	21.7	7.2	8 3/4"	63	2.219	17:41	20:11	235

### 6.2.2 Resumen de los resultados completos de la etapa 1 a/c=0.7

Tabla 54. Tabla completa de resultados de la etapa 1 a/c=0.7

<b>a/c=0.7</b>	Temperatura ambiente	Temperatura de la mezcla	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla/ # de tanda	(°C)	(°C)							
DM1(Patrón)/1	17.6	22.4	3.7	6 3/4"	0	2.283	07:33	09:26	253
DM1(Patrón)/2	19.9	21.6	3.7	7 1/4"	0	2.295	07:22	09:18	262
DM1(Patrón)/3	17.4	20.1	3.5	8 1/2"	0	2.297	08:10	10:06	294
DM2/1	18.3	20.5	4.3	8"	24	2.240	08:04	09:46	232
DM2/2	18.9	21.2	4	8"	22	2.247	08:19	09:41	237
DM2/3	20	20	4.5	7 3/4"	28	2.227	07:09	09:03	249
DM3/1	21.3	21.7	5.3	8"	33	2.235	12:24	14:31	241
DM3/2	22.2	22	5.4	7 1/2"	34	2.230	12:27	14:05	235
DM3/3	21.2	21.4	5.2	8 "	35	2.288	13:19	15:12	242
DM4/1	20	20.7	7.2	9 1/4"	85	2.219	24:19	27:36	213

DM4/2	20	20.6	7.4	9 1/2"	92	2.209	24:51	27:07	212
DM4/3	18.7	20.9	7.6	10 "	84	2.162	22:04	24:05	203

### 6.2.3 Resumen de los resultados completos de la etapa 2 a/c=0.7

Tabla 55. Tabla completa de resultados de la etapa 2 a/c=0.7

<b>a/c=0.7</b>	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	% aire	Slump	Exudación (ml)	PU	Fragua inicial (hrs)	Fragua final (hrs)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
DM1(Patrón)/1	27.1	30.1	4	7 1/2"	13	2.328	05:30	06:45	290
DM1(Patrón)/2	26.7	30.5	5	8"	18	2.290	05:36	07:03	281
DM1(Patrón)/3	27.9	30.8	3.5	7 "	12	2.376	04:32	05:33	302
DM2/1	29	30.7	5.1	9"	23	2.254	06:00	07:07	284
DM2/2	28.1	29.7	5	9 1/4"	22	2.253	05:49	07:07	289
DM2/3	27.3	29.9	4.9	9 1/2"	30	2.267	05:51	07:00	276
DM3/1	27.1	29.6	7.4	9 3/4"	35	2.195	07:46	08:49	263
DM3/2	27	29.7	7.2	9 1/2"	45	2.198	07:47	09:09	268
DM3/3	27.4	30	6.9	9 3/4"	30	2.206	06:39	07:47	251
DM4/1	30.3	31.5	8	10"	90	2.110	08:30	09:39	248
DM4/2	29.7	30.2	8.5	10 1/4"	99	2.189	08:12	09:38	250
DM4/3	30.8	31.1	8.1	10"	115	2.152	08:58	10:23	218

## CAPITULO 7

### EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se evalúan los resultados obtenidos de las 2 tandas realizadas en un mismo día para los 4 diseños de mezcla por cada relación a/c y por cada etapa.

#### 7.1 ENSAYOS DEL CONCRETO

##### 7.1.1 Temperatura

Se registraron las siguientes temperaturas durante el desarrollo de los ensayos:

Tabla 56. Temperatura ambiente de la etapa 1

a/c	Mezcla	DM1 (PATRÓN)	DM2	DM3	DM4
0.6	1	21.4	19.1	18.1	17.5
	2	19.1	19.4	19.4	18.7
0.7	1	17.6	18.3	21.3	20.0
	2	19.9	18.9	22.2	20.0

Tabla 57. temperatura ambiente de la etapa 2

a/c	Mezcla	DM1 (PATRÓN)	DM2	DM3	DM4
0.7	1	27.1	29.0	27.1	30.3
	2	26.7	28.1	27.0	29.7

Tabla 58. Temperatura de las mezclas de la etapa 1

a/c	Mezcla	DM1 (PATRÓN)	DM2	DM3	DM4
0.6	Mezcla 1	22.3	21.4	21.4	21.1
	Mezcla 2	23.7	21.4	21.4	20.9
0.7	Mezcla 1	22.4	20.5	21.7	20.7
	Mezcla 2	21.6	21.2	22.0	20.6

Tabla 59. Temperatura de las mezclas de la etapa 2

a/c	Mezcla	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.7	Mezcla 1	30.1	30.7	29.6	31.5
	Mezcla 2	30.5	29.7	29.7	30.2

La variable que se presenta entre la etapa 1 y la etapa 2 es la temperatura de ambiente. La etapa 1, realizada en invierno, presenta una temperatura ambiente promedio de 19.50 °C; mientras que, la etapa 2 presenta una temperatura ambiente promedio de 28.20 °C. Esta variación de escenarios influye en gran medida en la temperatura de las mezclas tal como se puede observar en las tablas 58 y 59, donde la temperatura de mezcla más alta en la etapa 1 es 23.5 °C; mientras que, en la etapa 2 la temperatura de mezcla más alta es de 31.5°C. Además, este aumento en la temperatura ambiente de 8°C de la etapa 1 a la etapa 2 afectó el tiempo de fraguado de las mezclas de concreto como se puede observar en los resultados que se muestran más adelante en las tablas 68 y 69.

El cambio de temperatura también afecta la trabajabilidad de las mezclas de concreto; sin embargo, debido a la cantidad de ensayos no se pudo evaluar la pérdida del slump en el tiempo. En la etapa 2 se observó que las mezclas de concreto perdían su trabajabilidad en un menor tiempo comparado con las mezclas realizadas en la etapa 1. En la figura 30 del libro “Diseño y control de mezclas de concreto” (PCA,2004), se observa que la temperatura de la mezcla presenta un gran efecto en la pérdida de trabajabilidad del concreto. Se aprecia que la



caída del revenimiento es más brusca en mezclas de concreto sin aditivo a 32°C comparado con mezclas sin aditivo a 23°C. Con respecto a mezclas con aditivo retardante a 32°C, la pérdida de slump es aún más brusca comparada con mezclas sin aditivo a 32°C.

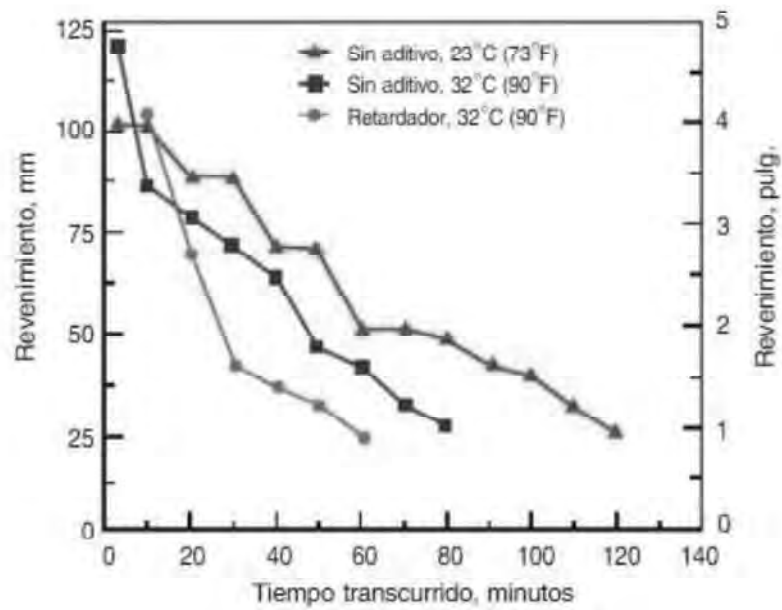


Figura 30. Pérdida de trabajabilidad de mezclas de concreto a diferentes temperaturas  
Tomado de “*Diseño y control de mezclas de concreto*” por Portland Cement Association (EEUU), 2004.

### 7.1.2 Peso Unitario

Se obtuvo los siguientes pesos unitarios de las mezclas realizadas:

Tabla 60. Peso unitario de las mezclas de la etapa 1

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.6	1	2.250	2.266	2.247	2.208
	2	2.249	2.277	2.240	2.186
0.7	1	2.283	2.240	2.235	2.219
	2	2.295	2.247	2.230	2.209

Tabla 61. Peso unitario de las mezclas de la etapa 2

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.7	Mezcla 1	2.328	2.254	2.195	2.110
	Mezcla 2	2.290	2.253	2.198	2.189

La variable de temperatura ambiente no presenta incidencia en la variación de pesos unitarios de ambas etapas. Sin embargo, se observa que al aumentar la dosis de aditivo retardante el peso unitario disminuyó. Esto ocurre porque al aumentar la dosis de aditivo retardante también se incrementó el contenido de aire en la mezcla de concreto lo cual disminuye el peso de la mezcla.

### 7.1.3 Contenido de aire

Se obtuvo los siguientes de las mezclas realizadas:

Tabla 62. Contenido de aire de la etapa 1

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.6	Tanda 1	4.2	4.6	5.6	7.2
	Tanda 2	4.2	4.4	5.8	7.5
0.7	Tanda 1	3.7	4.3	5.3	7.2
	Tanda 2	3.7	4.0	5.4	7.4

Tabla 63. Contenido de aire de la etapa 2

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.7	Tanda 1	4.0	5.1	7.4	8.0
	Tanda 2	5.0	5.0	7.2	8.5

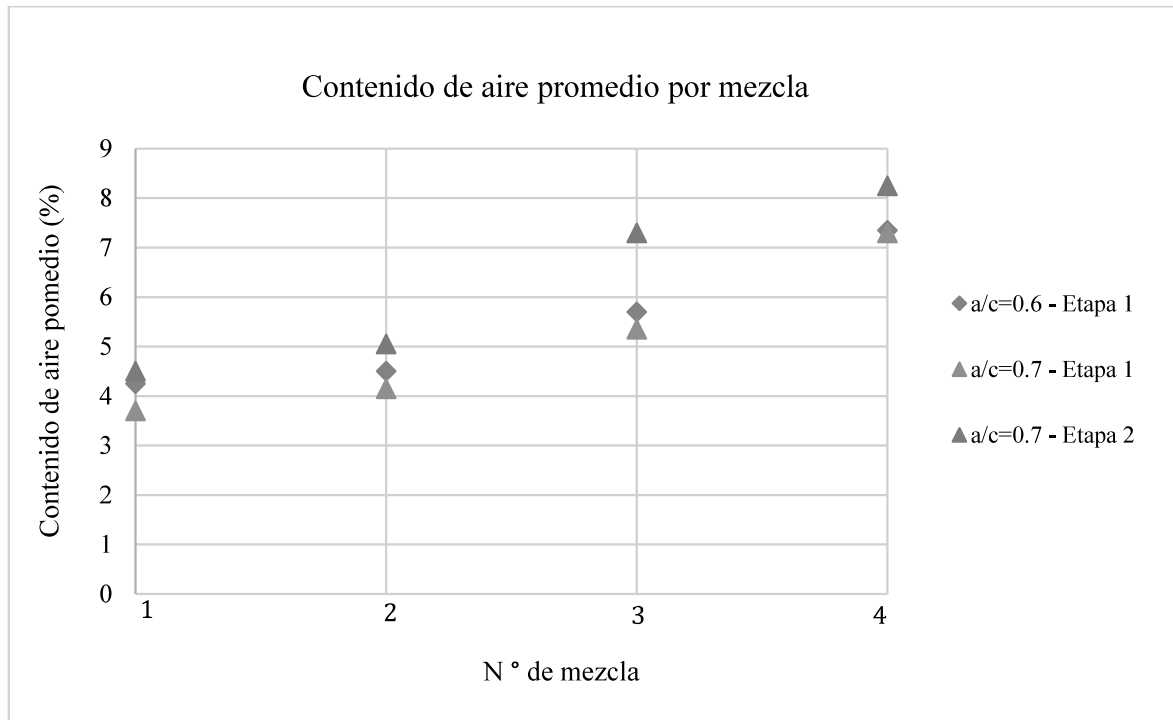


Figura 31. Contenido de aire promedio de las mezclas  
Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que el contenido de aire de las mezclas aumenta conforme incrementa el contenido de aditivo retardante. Además, se observa un mayor contenido de aire en las mezclas de relación  $a/c = 0.6$  que en las de relación  $a/c=0.7$ , ya que al tener mayor cantidad de cemento la cantidad de aditivo retardante también es mayor. De los resultados obtenidos se observó que a medida que aumenta el contenido de aire atrapado en las mezclas de concreto disminuyó los valores de resistencia a la compresión, esto se puede observar en la figura 38 y 39.

### 7.1.4 Slump

Se registraron los siguientes resultados del ensayo de slump:

Tabla 64. Slump de las mezclas de la etapa 1  
Slump(pulg)

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.6	1	7 1/4"	7 1/2"	7 "	9 "
	2	7 1/2"	8"	7 3/4 "	9 3/4"
0.7	1	6 3/4"	8"	8"	9 1/4"
	3	7 1/4"	8"	7 1/2"	9 1/2"

Tabla 65. Slump de mezclas de la etapa 2  
Slump(pulg)

a/c	Tanda	DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.7	1	7 1/2"	9"	9 3/4"	10"
	2	8"	9 1/4"	9 1/2"	10 1/4"

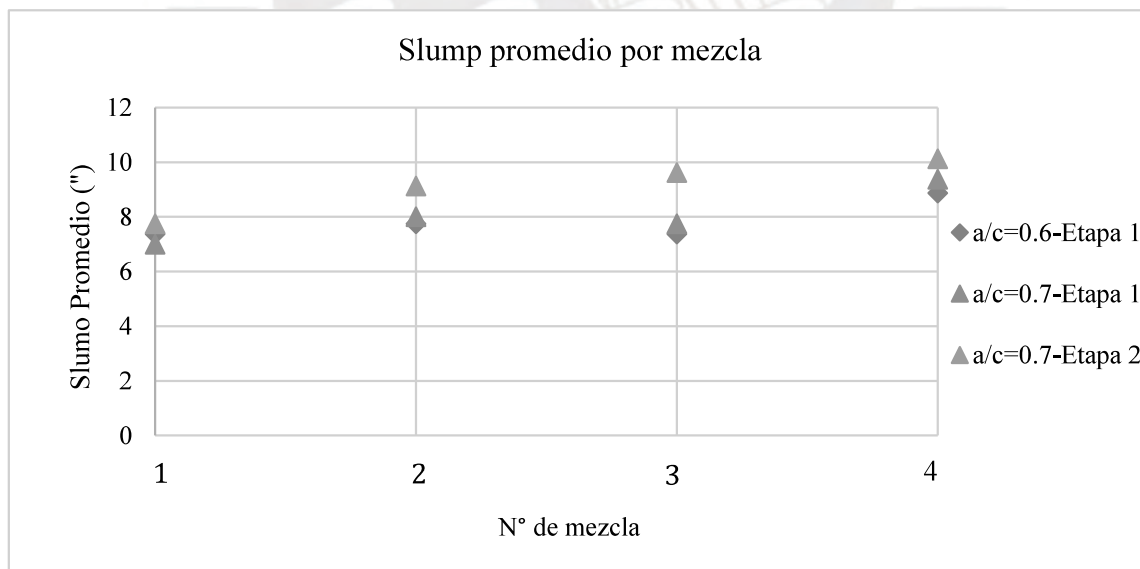


Figura 32. Slump promedio de las mezclas  
Elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que al aumentar la cantidad de aditivo retardante también aumenta la medida del slump de la mezcla. Este resultado es adecuado ya que el aditivo retardante tiene como efecto colateral ser un reductor de agua (Laura Navarro, 2016). Es decir, a mayor cantidad de aditivo retardante existirá una mayor cantidad de partículas de cemento en proceso de hidratación; por lo que, la pasta resultante será más trabajable.

### 7.1.5 Exudación

Del ensayo de exudación se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 66. Volumen de exudación por unidad de superficie de la etapa 1

a/c	Tanda	Exudación ( $ml/cm^2$ )			
		DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.6	1	0.000	0.057	0.181	0.396
	2	0.000	0.057	0.170	0.379
0.7	1	0.000	0.136	0.187	0.481
	2	0.000	0.124	0.192	0.521

Tabla 67. Volumen de exudación por unidad de superficie de la etapa 2

a/c	Tanda	Exudación ( $ml/cm^2$ )			
		DM 1	DM 2	DM 3	DM 4
0.7	1	0.074	0.130	0.198	0.509
	2	0.102	0.124	0.255	0.560

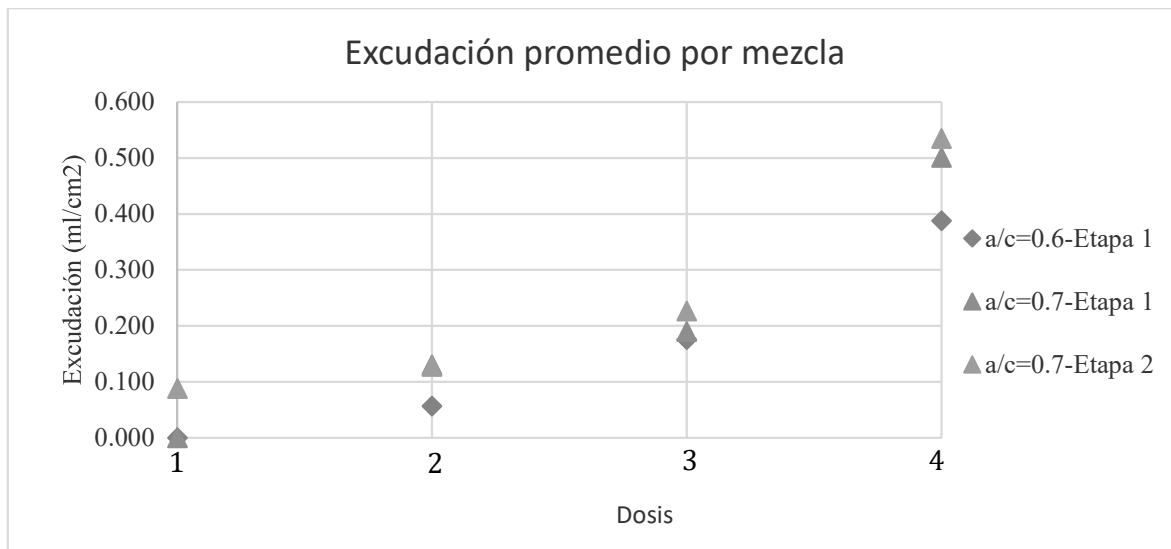


Figura 33. Exudación promedio de las mezclas  
Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 33, el volumen de exudación aumenta a medida que se incrementa la cantidad de aditivo retardante. Valores de exudación elevados como los obtenidos en los diseños de mezcla 3 y 4 ocasionan en obra patologías en el concreto como descascaramiento de la superficie, polvillo, contribuyen en el retardo del concreto y del inicio de las operaciones de acabado, entre otros.

De acuerdo a lo indicado por el Portland Cement Institute en su libro “*Diseño y control de mezclas de concreto*”, los valores típicos de exudación varían entre 0.01 ml/cm<sup>2</sup> y 0.08 ml/cm<sup>2</sup> (PCA, 2004). Al realizar la comparación con los valores obtenidos en las tablas 66 y 67, se observa que desde el diseño de mezcla 2 (diseño en el que se usa la dosis máxima de aditivo retardante recomendado por el fabricante), se excede el rango normal establecido de exudación y que para el diseño de mezcla 4 (diseño en el que la dosis de aditivo retardante es el doble de lo máximo recomendado por el fabricante), la exudación llega a cuadruplicar el

máximo valor típico de exudación establecido. Exceder los valores recomendados puede generar patologías en el concreto como asentamiento plástico, superficies débiles y malos acabados del concreto.

### 7.1.6 Ensayo del tiempo de fraguado inicial y final

Tabla 68. Tiempo de fraguado inicial y final de las mezclas de la etapa 1

a/c	Diseño de mezcla	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	Tiempo de fraguado inicial (h:m)	Tiempo de fraguado final (h:m)
0.6	DM1 (PATRÓN)/1	21.4	23.7	06:46	08:35
	DM1 (PATRÓN)/2	19.1	21.2	07:06	08:52
	DM2/1	19.1	21.4	06:46	08:53
	DM2/2	19.4	21.4	07:03	08:52
	DM3/1	18.1	21.4	14:19	15:48
	DM3/2	19.4	21.4	13:48	15:39
	DM4/1	17.5	21.1	20:34	23:15
	DM4/2	18.7	20.9	21:47	24:11
0.7	DM1 (PATRÓN)/1	17.6	22.4	07:33	09:26
	DM1 (PATRÓN)/2	19.9	21.6	07:22	09:18
	DM2/1	18.3	20.5	08:04	09:46
	DM2/2	18.9	21.2	08:19	09:41
	DM3/1	21.3	21.7	12:24	14:31
	DM3/2	22.2	22	12:27	14:05
	DM4/1	20	20.7	24:19	27:36
	DM4/2	20	20.6	24:51	27:07

Tabla 69. Tiempo de fraguado inicial y final de las mezclas de la etapa 2

a/c	Diseño de mezcla	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura de la mezcla (°C)	Tiempo de fraguado inicial (h:m)	Tiempo de fraguado final (h:m)
0.7	DM1 (PATRÓN)/1	27.1	30.1	05:30	06:45
	DM1 (PATRÓN)/2	26.7	30.5	05:36	07:03
	DM2/1	29	30.7	06:00	07:07
	DM2/2	28.1	29.7	05:49	07:07
	DM3/1	27.1	29.6	07:46	08:49
	DM3/2	27	29.7	07:47	09:09
	DM4/1	30.3	31.5	08:30	09:39
	DM4/2	29.7	30.2	08:12	09:38

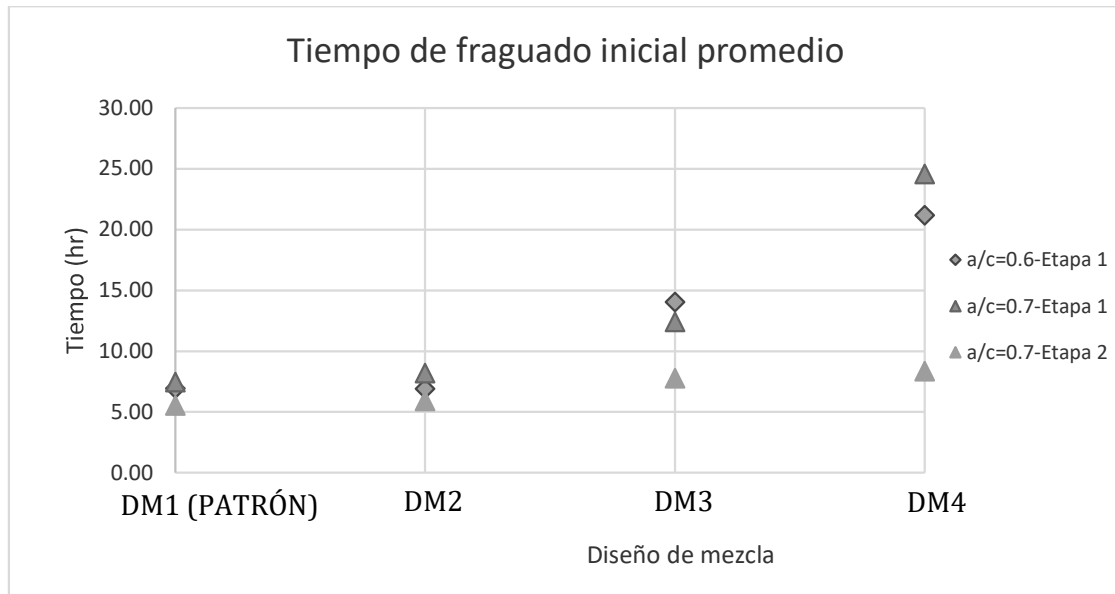


Figura 34 Tiempo de fraguado final promedio

Elaboración propia

De acuerdo con la figura 34, se visualiza que en los diseños de mezcla 1 y 2 (cuyo rango de aditivo retardante se encuentra dentro de lo recomendado por el fabricante) la temperatura ambiente no presenta una influencia considerable en los tiempos de fraguado inicial de la mezcla. Sin embargo, en verano se observa que el tiempo de fraguado inicial se produce una hora antes que en invierno. Con respecto a los diseños de mezcla 3 y 4 (cuyo rango de aditivo retardante excede la recomendación del fabricante), existe una gran diferencia en el tiempo de fraguado inicial entre la etapa 1 (19.5°C) y la etapa 2 (28.2 °C) cuya variable principal es la temperatura del ambiente. Se observa un retraso del tiempo de fraguado inicial a medida que se aumenta la dosis de aditivo retardante. Esta propiedad es importante para el constructor ya que le permite conocer el inicio del curado del concreto. Es importante llevar un control del tiempo de fraguado inicial para realizar un curado oportuno para evitar patologías como fisuras por contracción plástica.



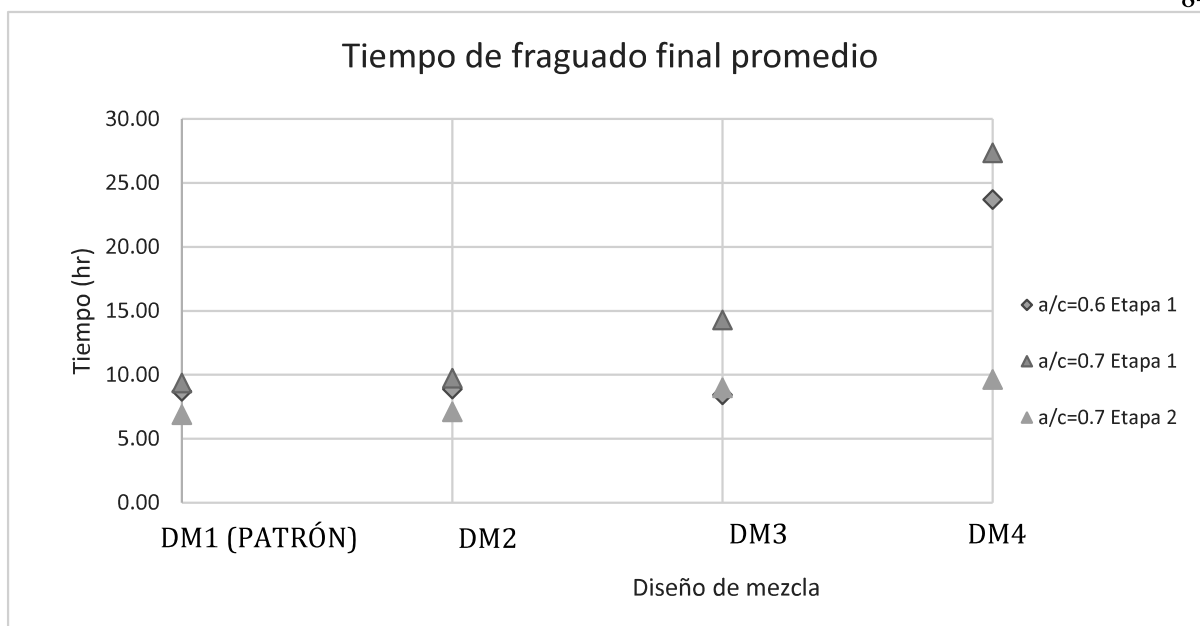


Figura 35. Tiempo de fraguado final promedio

Elaboración propia

De acuerdo con la figura 35, se visualiza que en los diseños de mezcla 1 y 2 (cuyo rango de aditivo retardante se encuentra dentro de lo recomendado por el fabricante) la temperatura del ambiente no presenta una influencia considerable en los tiempos de fraguado final de la mezcla. Con respecto a los diseños de mezcla 3 y 4 (cuyo rango de aditivo retardante excede la recomendación del fabricante), existe una gran diferencia en el tiempo de fraguado final entre la etapa 1 (19.5°C) y la etapa 2 (28.2 °C) cuya variable principal es la temperatura del ambiente. Estas mezclas no presentarían un comportamiento normal por alcanzar valores del tiempo de fraguado final de hasta 27 horas. El constructor siempre buscará que el concreto a utilizar presente valores normales para el tiempo de fraguado y así poder desencofrar en el menor tiempo posible. La Norma ACI 347R-14 establece un tiempo mínimo de 12 horas para retirar el encofrado de vigas y elementos verticales por lo que un tiempo de fraguado final mayor a este valor no permitiría el desencofrado de estos elementos a tiempo perjudicando al constructor.

### 7.1.7 Gráficos comparativos etapa 1

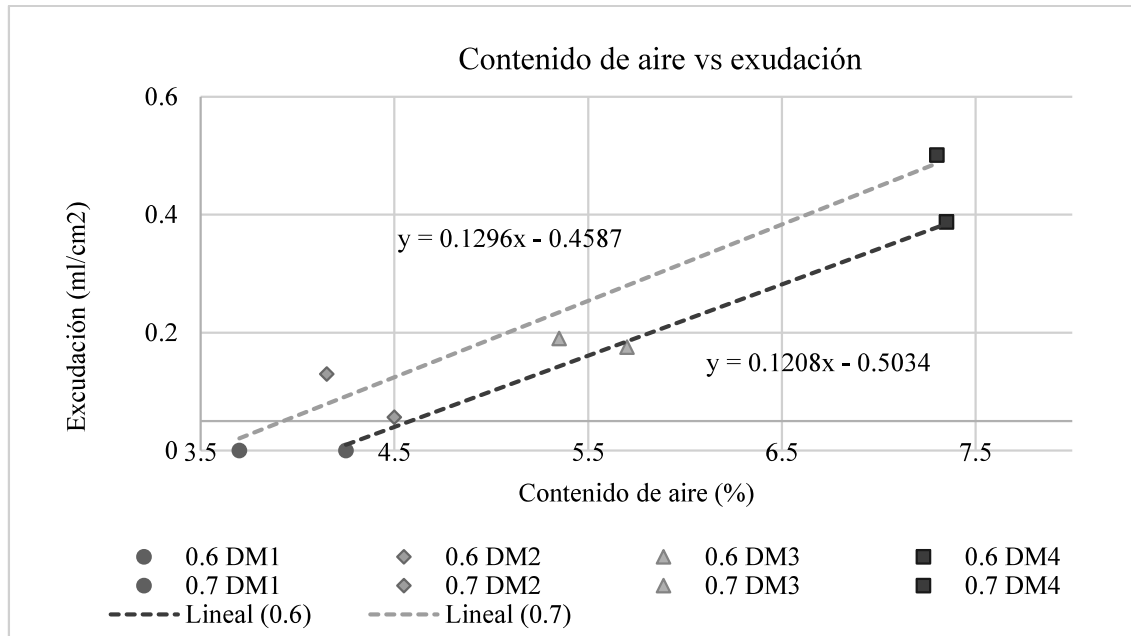


Figura 36. Porcentaje de aire vs exudación etapa 1  
Elaboración propia

De la figura 36, se observa que a medida que se aumenta la cantidad de aditivo retardante en el concreto también se incrementa el porcentaje de aire y la exudación en la mezcla. Estas propiedades del concreto al incrementarse pueden provocar patologías en el concreto como descascaramiento de la superficie, polvillo, entre otros. Esto genera costos de no calidad por reparaciones que perjudican al constructor.

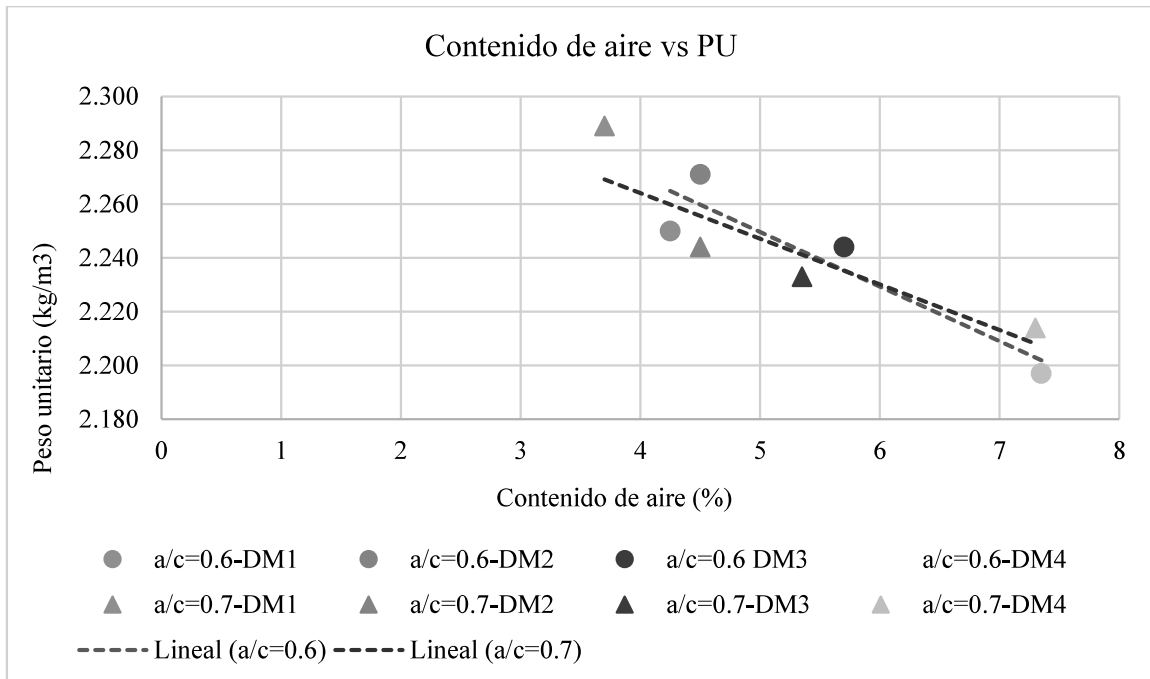


Figura 37. Contenido de aire vs Peso unitario etapa 1  
Elaboración propia

De la figura 37, se observa que a medida que se aumenta la dosis de aditivo retardante en la mezcla el contenido de aire aumenta y el peso unitario disminuye. Este resultado es adecuado ya que al tener mayor contenido de aire la mezcla el peso del concreto será menor.

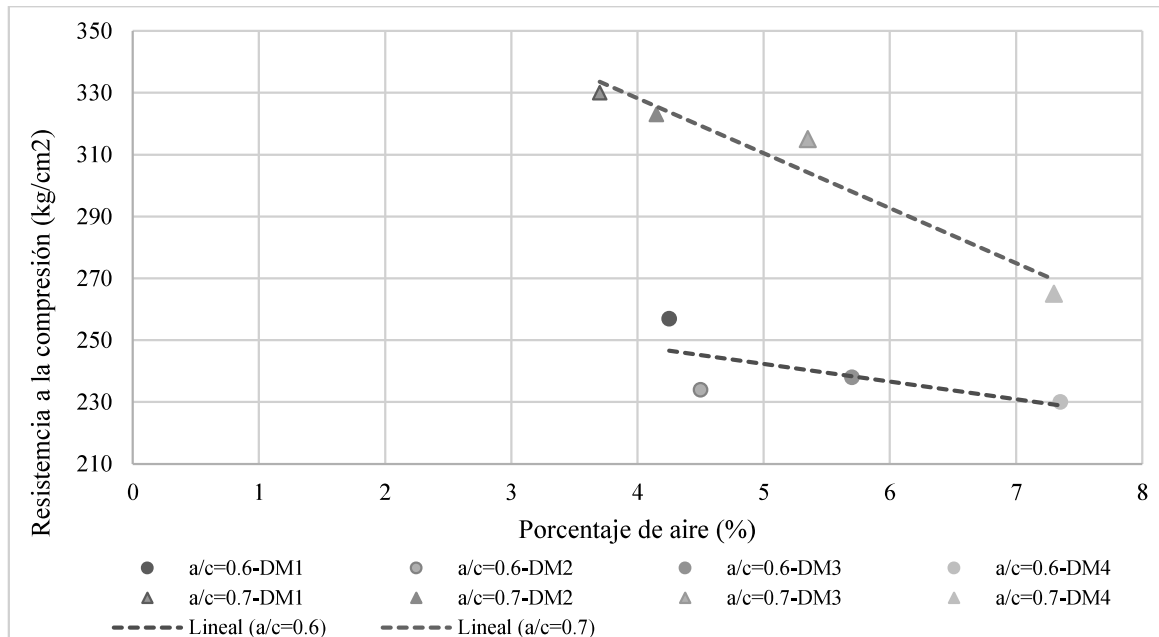


Figura 38. Contenido de aire vs Resistencia a la compresión etapa 1  
Elaboración propia

De la figura 38, se observa que a medida que se incrementa la dosis de aditivo retardante en la mezcla el contenido de aire aumenta y la resistencia a la compresión disminuye. Este resultado es adecuado ya que al tener mayor contenido de aire el concreto este será más poroso disminuyendo la resistencia a la compresión de la mezcla. Esta propiedad del concreto afecta directamente a la resistencia del concreto por lo que se debe llevar un control del contenido de aire en las mezclas de concreto para evitar que se presente resistencias bajas.

### 7.1.8 Gráficos comparativos etapa 2

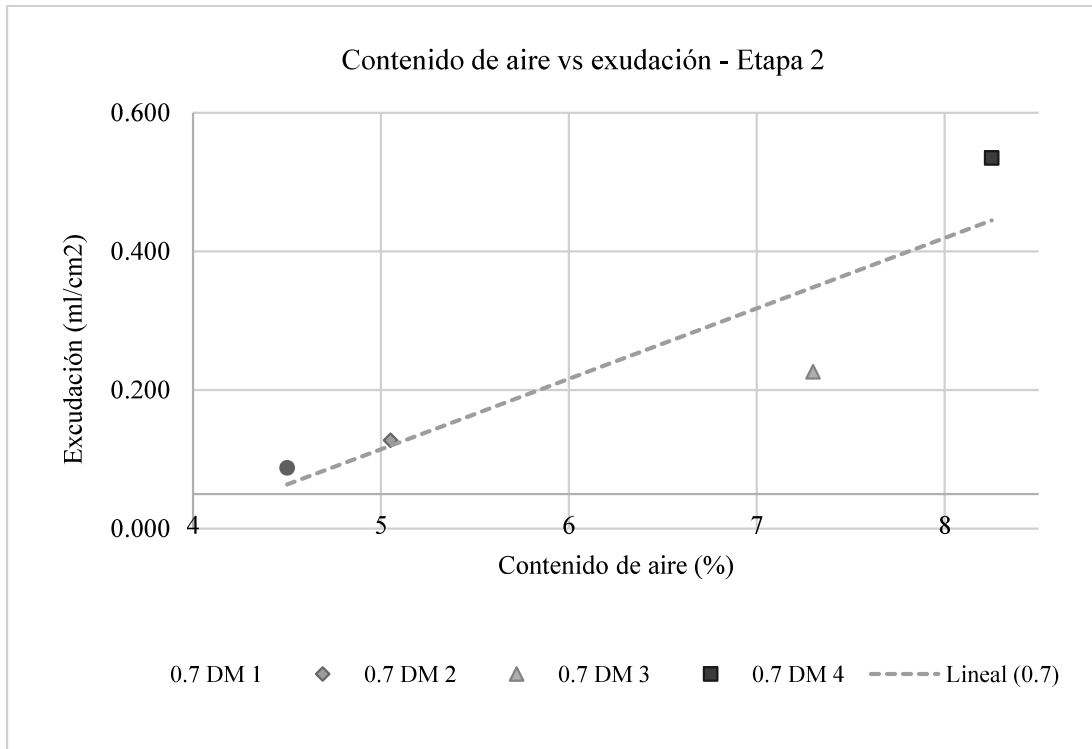


Figura 39. Porcentaje de aire vs exudación etapa 2  
Elaboración propia

De la figura 39, se observa que a medida que se aumenta la cantidad de aditivo retardante en el concreto también se incrementa el porcentaje de aire y la exudación en la mezcla. Estos valores son similares a los obtenidos en la etapa 1 por lo que no se vio afectado por el cambio de temperatura.

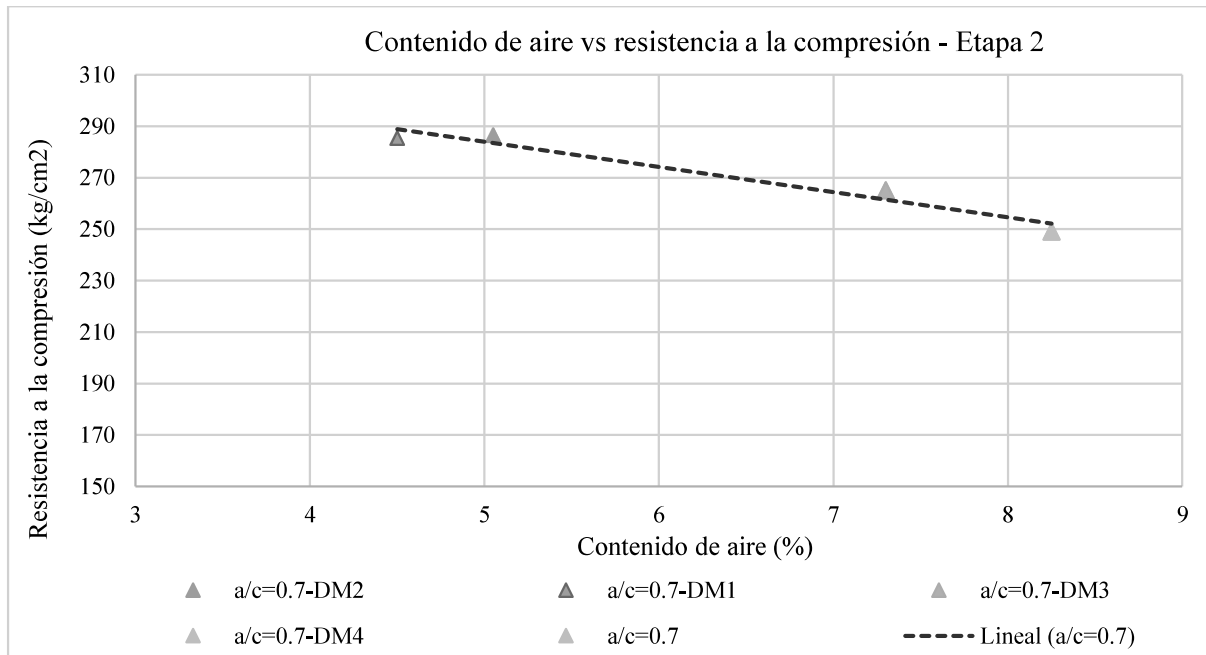


Figura 40. Contenido de aire vs resistencia a la compresión etapa 2  
Elaboración propia

De la figura 40, se observa que a medida que se incrementa la dosis de aditivo retardante en la mezcla el contenido de aire aumenta y la resistencia a la compresión disminuye. Estos valores muestran que los valores obtenidos en la etapa 1 y 2 presentan la misma tendencia. Es decir, no se vieron afectados por el cambio de temperatura.

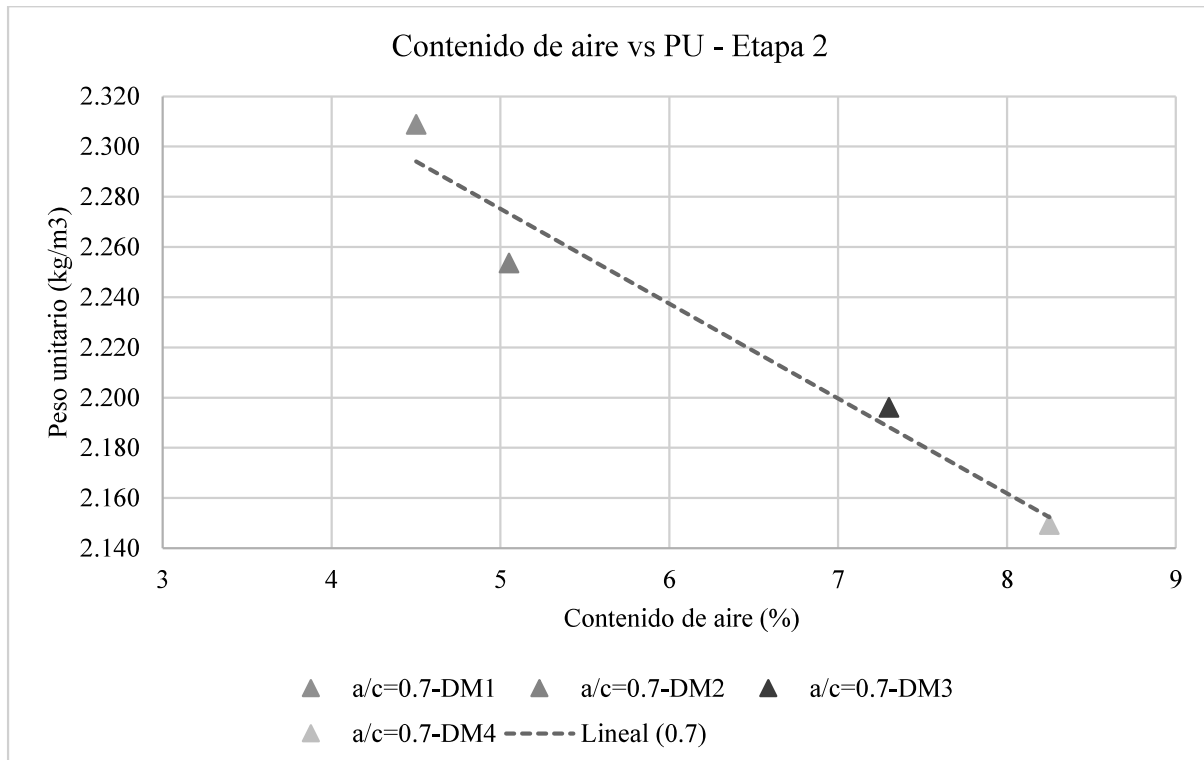


Figura 41. Contenido de aire vs peso unitario de etapa 2  
Elaboración propia

De la figura 41, se observa que a medida que se aumenta la dosis de aditivo retardante en la mezcla el contenido de aire aumenta y el peso unitario disminuye. Estas propiedades del concreto también presentan una tendencia similar a las obtenidas en la etapa 1, no se ven afectadas por el cambio de temperatura.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES:

- Se verifica que al aumentar la dosis de aditivo retardante (tipo D) en diseños de mezclas de concreto se generan retardos en el tiempo de fraguado inicial y final.
- Se verifica que el tiempo de fraguado inicial es afectado considerablemente ante variaciones de temperatura ambiente. En la etapa 1, el tiempo de fraguado inicial incrementó hasta un 300% aproximadamente con respecto a lo obtenido en la mezcla Patrón (DM1). En la etapa 2, el tiempo de fraguado inicial incrementó hasta un 250% aproximadamente con respecto a lo obtenido en la mezcla Patrón (DM1).
- Se verifica que el tiempo de fraguado final es afectado considerablemente ante variaciones de temperatura ambiente. En la etapa 1, el tiempo de fraguado final incrementó hasta un 280% con respecto a lo obtenido de la mezcla Patrón (DM1). En la etapa 2, el tiempo de fraguado final solo incrementó un 130% aproximadamente con respecto a lo obtenido en la mezcla Patrón (DM1).
- Se verifica que a baja temperatura ambiente los tiempos de fraguado inicial y final se prolongan generando retardos significativos impactando al constructor. Los tiempos de fraguado inicial y final más críticos obtenidos en esta investigación fueron de 24 y 27 horas respectivamente en donde la temperatura ambiente promedio registrada fue de 19.5°C.



- Se verifica que a alta temperatura ambiente los valores tiempo de fraguado inicial y final no presentan retardo a pesar de usar aditivo tipo D en altas dosis. La máxima temperatura promedio registrada es de 28.2°C y se obtuvo tiempos de fraguado inicial y final de 8 y 9 horas respectivamente.
- Se verifica que al aumentar la dosis de aditivo retardante en las mezclas de concreto los valores de slump obtenidos aumentan de 7" a 10". El aumento del slump no deseado puede provocar elevada exudación y sentamiento plástico. Esto puede generar patologías en el concreto como fisuras, polvillo, pérdida de recubrimiento entre otros.
- Se verifica que al usar el aditivo retardante en dosis mayores a lo recomendado por el fabricante genera exudación elevada en mezclas de concreto que van desde 0.057 ml/cm<sup>2</sup> para el diseño de mezcla Patrón (DM1) a 0.56 ml/cm<sup>2</sup> para el diseño de mezcla 4, el cual contiene la mayor cantidad de aditivo retardante. Esto puede generar patologías en el concreto como descascaramiento superficial o deslaminación, polvillo, entre otros, generando sobre costos por reparaciones.
- Se verifica que, al aumentar la dosis de aditivo retardante en las mezclas de concreto, también se incrementa el contenido de aire en las mismas. Los valores obtenidos del contenido de aire van desde 3.7% a 8.2% generando una disminución de la resistencia de hasta un 14% con respecto a la mezcla Patrón.
- No se pudo medir los tiempos de fraguado excesivo porque los ensayos se realizaron durante los meses de octubre y noviembre, donde no se tiene la menor temperatura ambiente.

## 8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un control de calidad de la dosificación de las mezclas de concreto para evitar retardos de fraguado prolongados que puedan afectar los costos, la programación de obra y multas por retrasos.
- Se recomienda a los fabricantes de concreto realizar pruebas que verifiquen que los aditivos usados en el concreto cumplan con la ASTM C 494 para obtener valores normales en las propiedades del concreto.
- Es importante verificar que los dosificadores cumplan con un mantenimiento constante para evitar una sobredosis de aditivo producto de una saturación de este equipo.
- Verificar que las balanzas se encuentren calibradas para asegurar el pesaje de los componentes del concreto.
- Es importante llevar un control de la temperatura ambiente para tomar medidas preventivas para cuando se presentan temperaturas por encima de los 35°C o por debajo de los 5°C que indica la Norma E0.60. Si la temperatura ambiente es elevada se puede tratar de vaciar en horarios del día donde la temperatura ambiente sea menor. En el caso de temperaturas bajas se puede optar por vaciar en un horario del día donde la temperatura sea mayor. Esto evitaría efectos no deseados en las propiedades de la mezcla de concreto como en el tiempo de fraguado inicial y final.
- No se recomienda usar el aditivo retardante fuera del rango recomendado por el fabricante porque produce una disminución en la resistencia a la compresión a medida que incrementa el contenido de aire en el concreto.

- No se recomienda el uso en altas dosis del aditivo retardante para elementos como losas ya que al presentar una elevada exudación el concreto puede generar patologías como asentamiento plástico, descascaramiento, polvillo, superficies con bajas resistencias, entre otros.

### **7.3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

- Se recomienda continuar con la investigación de nuevas tecnologías como el mantensor de trabajabilidad, el cual busca mantener por un mayor tiempo la trabajabilidad de la mezcla sin afectar el tiempo de fraguado de la misma. Evaluar su compatibilidad con otros aditivos y ante impurezas que se encuentran en los agregados.
- Se recomienda evaluar mezclas de concreto con diferentes dosis de aditivos retardante en temperaturas de inviernos y verano más críticas más críticas para evaluar el comportamiento del concreto.

## CAPÍTULO 9

### BIBLIOGRAFÍA

- ACI 116R-00 (2002). *Terminología del cemento y el hormigón*. USA: ACI Comité 116
- ACI 318-19 (2019). *Building code requirements for structural concrete*. USA: ACI Committee 318
- ACI347R-14 (2014). *Guide to Formwork for Concrete*. USA: ACI Committee 347
- ASOCEM (2020). *Reporte estadístico mensual febrero 2020*.  
<http://www.asocem.org.pe/estadisticas-nacionales/reporte-estadistico-mensual-febrero-2020>
- ASTM C29/C29M. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. Recuperado de <https://compass-astm-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/download/C29C29M.14644.pdf>
- ASTM C33/C33M. (2018). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Recuperado de <https://compass-astm-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/download/C33C33M.29995.pdf>
- ASTM C39 (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Recuperado de [https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0039\\_C0039M-21%7Cen-US](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0039_C0039M-21%7Cen-US)
- ASTM C117 (2017) *Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu$ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. Recuperado de <https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0117-17%7Cen-US>

ASTM. C125 (2019) *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. Recuperado de <https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0125-19>

ASTM C127. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. Recuperado de <https://compass-astm-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/download/C127.32864.pdf>

ASTM C128. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*. Recuperado de <https://compass-astm-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/download/C128.28201.pdf>

ASTM C136. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. Recuperado de [https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0136\\_C0136M-19%7Cen-US](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0136_C0136M-19%7Cen-US)

ASTM C138 (2017). *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete*. Recuperado de [https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0138\\_C0138M-17A%7Cen-US](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0138_C0138M-17A%7Cen-US)

ATSM C143 (2020). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. Recuperado de

[https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0143\\_C0143M-20%7Cen-US](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0143_C0143M-20%7Cen-US)

ASTM C150/C150M-19a (2019). *Standard Specification for Portland Cement*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0150\\_C0150M-19A](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0150_C0150M-19A)

ASTM C172 (2017) *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete*. Recuperado de [https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0172\\_C0172M-17%7Cen-US](https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CC0172_C0172M-17%7Cen-US)

ASTM C231/C231M. (2017). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method 1*. Recuperado de [https://doi.org/10.1520/C0231\\_C0231M-17A](https://doi.org/10.1520/C0231_C0231M-17A)

ASTM C232/C232M-14(2019) *Standard Test Method for Bleeding of Concrete*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0232\\_C0232M-14R19](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0232_C0232M-14R19)

ASTM. C403/C403M-16. (2016) *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0403\\_C0403M-16](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0403_C0403M-16)

ASTM C494/C494M (2017). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0494\\_C0494M-17](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C0494_C0494M-17)

ASTM C566. (2019). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*. Recuperado de <https://compass-astm-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/download/C566.31176.pdf>

ASTM C1064/C1064M (2017) *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C1064\\_C1064M-17](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C1064_C1064M-17)

ASTM C1602/C1602M (2018) *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete*. Recuperado de [https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C1602\\_C1602M-18](https://doi-org.ezproxybib.pucp.edu.pe/10.1520/C1602_C1602M-18)

Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural, (2010). Monografía 16. *Manual de tecnología de aditivos para hormigón*. Proyectos Editoriales. pp.34-35,62, 99-101. España: Cyan

Canal P Y S CONCRETO (19 de abril de 2020). *Conferencia técnica "Soluciones a los problemas frecuentes en los vaciados de concreto"*. [Archivo de Video]. YouTube. <https://youtu.be/iZvWhJBRwY8>

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, EE. UU: Portland Cement Association

Lozano, V (03 de enero de 2022) Construcción, el gran motor de la recuperación económica mundial. *El Peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/136637-construccion-el-gran-motor-de-la-recuperacion-economica-mundial>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009) *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. [http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios\\_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060\\_CONCRETO\\_ARMADO.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf)

Ministerio de Economía y Finanzas (2022). *Plan Nacional de Infraestructura para la Competitividad*. (1), 43-45 [https://www.mef.gob.pe/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6082&Itemid=100674&lang=es&language=es-ES](https://www.mef.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=6082&Itemid=100674&lang=es&language=es-ES)

Navarro, L. (2016) “*El cemento*”. Material del curso de Materiales de construcción. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://ares.pucp.edu.pe/pucp/document/dowdocum/dowdocum;jsessionid=0000ARyXjsjd7874T57lpmXWl2:1dool2utd?accion=VerDocumento&documento=03420639>

Navarro, L. 2016 “*Aditivos para concreto*”. Material del curso de Materiales de construcción. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. [https://eros.pucp.edu.pe/pucp/document/dowdocum/dowdocum;jsessionid=0000\\_AaL](https://eros.pucp.edu.pe/pucp/document/dowdocum/dowdocum;jsessionid=0000_AaL)



0CrBPHf9iczkZLNQfXU:1dopbfgmd?accion=VerDocumento&documento=0348629

6

NTP 334.009.2020 (2020) *Cementos. Cementos Pórtland. Requisitos.*

NTP 339.034.201(2015) *Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.*

NTP 339.088.2019 (2019). *Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos. 3ª Edición*

NTP 339.185 (2013). *Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. 2ª Edición*

NTP 400.16.2011 (2011). *Agregados. Determinación de la inalterabilidad de agregados por medio de sulfato de sodio o sulfato de magnesio*

NTP 400.037.2018 (2018) *Agregados para concreto. Requisitos.*

NTP 400.042.2016 (2016). *Método de ensayo para la determinación cuantitativa de cloruros y sulfatos solubles en agua para agregados en concreto.*

Pasquel, E. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú.* Lima: Colegio de Ingenieros del Perú.