

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Civil



TESIS

**Estudio de las propiedades del concreto de mediana a baja
resistencia usando aditivo acelerante líquido y cemento
portland tipo I**

Para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Elaborado por

Harold Alberto Ojeda Castañeda

 [0009-0005-8354-8251](https://orcid.org/0009-0005-8354-8251)

Asesor

Mag. Max Huaynalaya Rashuaman

 [0000-0002-8956-2194](https://orcid.org/0000-0002-8956-2194)

LIMA- PERÚ

2025

Citar/How to cite	Ojeda Castañeda [1]
Referencia/Reference	[1] H. Ojeda Castañeda. (2025). " <i>Estudio de las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia usando aditivo acelerante líquido y cemento portland tipo I</i> " [Tesis de pregrado]. Lima (Perú) Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Ojeda,2025)
Referencia/Reference	Ojeda, H. (2025). <i>Estudio de las propiedades del concreto de mediana a baja resistencia usando aditivo acelerante líquido y cemento portland tipo I</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres por todo el apoyo

A mis hermanos por su compañía y comprensión

Agradecimientos

Al ingeniero Max Huaynalaya Rashuaman por su asesoría y su amistad en la elaboración de esta investigación.

Al personal del Laboratorio N°1 de ensayo de materiales (LEM) de la UNI, por el apoyo brindado.

A mis padres Olga y Salvador; a mis hermanas Ivette y Claudia; a mi hermano, Marcelo; y mi sobrina, este logro es por ustedes y para ustedes.

Resumen

El clima frío en diversas regiones del país representa un desafío para la construcción con concreto, ya que afecta negativamente el proceso de fraguado y el desarrollo de resistencias tempranas. Ante la necesidad de reducir los tiempos de puesta en marcha de los proyectos, es fundamental utilizar tecnologías que mejoren el desempeño del concreto en estas condiciones. Este estudio analizó el efecto de un aditivo acelerante basado en la adición de silicato de calcio hidratado (CSH) en concretos de mediana a baja resistencia, como alternativa a los acelerantes tradicionales.

La investigación siguió una metodología experimental. Se elaboraron 12 mezclas de concreto, variando las relaciones agua/cemento (0,60, 0,65 y 0,70) y la dosificación del aditivo (2, 3 y 4 litros por cada 100 kg de cemento). Se evaluaron el tiempo de fraguado inicial y la resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días. Los resultados indicaron que, al aumentar la dosificación, se redujo el tiempo de fraguado y se incrementó la resistencia, especialmente a los 28 días. Todas las mezclas con CSH cumplieron los requisitos de la norma NTP 334.088.

Sin embargo, al compararlo con un aditivo convencional a base de formiato de calcio, el CSH mostró menor eficacia tanto en la reducción del tiempo de fraguado como en el desarrollo de resistencia temprana. Estos hallazgos resaltan la necesidad de continuar investigando alternativas más eficientes para mejorar el comportamiento del concreto en climas fríos y acelerar los procesos constructivos sin comprometer la calidad.

Palabras clave: Concreto, aditivo acelerante, resistencia a la compresión, fraguado

Abstract

The cold climate in various regions of the country represents a challenge for concrete construction, as it negatively affects the setting process and the development of early strength. Given the need to reduce project start-up times, it is essential to use technologies that improve concrete performance under these conditions. This study analyzed the effect of an accelerating admixture based on the addition of hydrated calcium silicate (HCS) in medium- to low-strength concrete, as an alternative to traditional accelerators.

The research followed an experimental methodology. Twelve concrete mixtures were prepared, varying the water/cement ratios (0,60, 0,65, and 0,70) and the admixture dosage (2, 3, and 4 liters per 100 kg of cement). Initial setting time and compressive strength were evaluated at 3, 7, and 28 days. The results indicated that increasing the dosage reduced the setting time and increased strength, especially at 28 days. All mixtures with HCS met the requirements of NTP 334.088 standard.

However, when compared to a conventional calcium formate-based admixture, HCS was less effective in both reducing setting time and developing early strength. These findings highlight the need to continue investigating more efficient alternatives to improve concrete performance in cold climates and accelerate construction processes without compromising quality.

Keywords: Concrete, accelerating admixture, compressive strength, setting

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Tablas.....	xi
Lista de Figuras.....	xv
Lista de fórmulas.....	xvii
Lista de símbolos y siglas.....	xviii
Prólogo.....	xx
Capítulo I. Introducción.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Planteamiento de la realidad problemática.....	1
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Hipótesis.....	3
Capítulo II. Marcos Teórico y Conceptual.....	4
2.1. El concreto.....	4
2.1.1. Generalidades.....	4
2.1.1.1. Definición.....	4
2.1.2. Propiedades del concreto en estado fresco.....	8
2.1.2.1. Trabajabilidad.....	8
2.1.2.2. Peso unitario.....	8
2.1.2.3. Tiempo de fraguado.....	8
2.1.2.4. Exudación.....	8
2.1.2.5. Contenido de aire.....	9
2.1.2.6. Temperatura del concreto.....	9
2.1.3. Propiedades del concreto en estado endurecido.....	9

2.1.3.1. Resistencia a la compresión.	9
2.1.3.2. Resistencia a la tracción.	9
2.2. Efecto de la temperatura en el concreto	10
2.2.1. El concreto en temperaturas altas	10
2.2.2. Concreto en climas fríos	11
Capítulo III. Materiales Empleados.....	14
3.1. Agregados	14
3.1.1. Propiedades	14
3.1.2. Agregado fino	15
3.1.3. Agregado grueso	16
3.1.4. Agregado global	18
3.2. Cemento portland.	20
3.2.1. Definición:.....	20
3.3. Agua:.....	20
3.4. Aditivos.....	20
3.4.1. Definición.....	20
3.4.2. Clasificación	20
3.4.3. Aditivos acelerantes.....	21
3.4.4. Aditivo Master X-seed 100.....	22
Capítulo IV: Diseño y Preparación del Concreto.....	24
4.1. Generalidades	24
4.2. Procedimiento de diseño del concreto patrón por el método del agregado global.....	24
4.3. Diseños de concreto patrón para $a/c=0.60$, 0.65 y 0.70	27
4.3.1. Diseño patrón para $a/c=0.60$	27
4.3.2. Diseño patrón para $a/c=0.65$	32
4.3.3. Diseño patrón para $a/c=0.70$	34
4.4. Diseño de mezcla usando aditivo acelerante	36

4.4.1. Diseño de concreto CP1-AD1	38
4.4.2. Diseño de concreto CP1-AD2	38
4.4.3. Diseño de concreto CP1-AD3	39
4.4.4. Diseño de concreto CP2-AD1	39
4.4.5. Diseño de concreto CP2-AD2	40
4.4.6. Diseño de concreto CP2-AD3	40
4.4.7. Diseño de concreto CP3-AD1	41
4.4.8. Diseño de concreto CP3-AD2	41
4.4.9. Diseño de concreto CP3-AD3	42
Capítulo V: Ensayos	43
5.1. Propiedades del concreto en estado fresco	43
5.1.1. Trabajabilidad (NTP 339.035)	43
5.1.2. Peso unitario (NTP.339.046)	43
5.1.3. Contenido de aire (NTP 339.081)	43
5.1.4. Tiempo de fraguado (NTP 339.082)	44
5.1.5. Exudación (NTP 339.077).....	44
5.1.6. Temperatura del concreto (NTP 339.184).....	44
5.2. Propiedades del concreto en estado endurecido	44
5.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	44
5.2.2. Resistencia a la tracción (NTP 339.084).....	46
Capítulo VI. Resultados	47
6.1. Propiedades del concreto en estado fresco	47
6.1.1. Trabajabilidad	47
6.1.2. Peso unitario.....	47
6.1.3. Contenido de aire	48
6.1.4. Tiempo de fraguado.....	48
6.1.5. Exudación.....	49
6.1.6. Temperatura del concreto.....	50

6.2. Propiedades del concreto en estado endurecido	50
6.2.1. Resistencia a la compresión	50
6.2.2. Resistencia a la tracción	53
Capítulo VII. Análisis de resultados	55
7.1. Análisis de resultados del concreto en estado fresco.....	55
7.1.1. Trabajabilidad	55
7.1.2. Peso unitario.....	55
7.1.3. Contenido de aire	57
7.1.4. Tiempo de fraguado.....	58
7.1.4.1. Fraguado inicial:	58
7.1.4.2. Tiempo de fragua final:	59
7.1.5. Exudación.....	62
7.2. Análisis de resultados del concreto en estado endurecido.....	63
7.2.1. Resistencia a la compresión	63
7.2.2. Resistencia a la tracción	68
7.3. Análisis de las propiedades del concreto sobre dosificado	69
7.3.1. Tiempo de fragua	71
7.3.2. Resistencia a la compresión	73
Conclusiones.....	76
Recomendaciones.....	78
Referencias Bibliográficas	79
Anexos	82

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Compuestos del cemento portland.....	5
Tabla 2: Proceso de hidratación del cemento.....	6
Tabla 3: Contenido de aire incorporado para las mezclas expuestas a ciclos de congelamiento.	13
Tabla 4: Recomendaciones de a/c y resistencia a la compresión para concretos expuestos a bajas temperaturas.	13
Tabla 5: Granulometría del agregado fino.....	15
Tabla 6: Granulometría del agregado grueso.....	17
Tabla 7: Peso unitario compactado del agregado global.....	18
Tabla 8: Granulometría del agregado global.....	19
Tabla 9: Requisitos físicos de aditivos acelerantes.....	21
Tabla 10: Propiedades de Master X-Seed 100.....	23
Tabla 11: Cantidad de agua aproximada y aire atrapado para diferentes Asentamientos y tamaño nominal máximo de agregados.....	24
Tabla 12: Propiedades de los agregados para diseño de mezcla.....	27
Tabla 13: Diseño para 210L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60	27
Tabla 14: Diseño para 220L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60	27
Tabla 15: Diseño para 230L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60	28
Tabla 16: Cantidad de agua por metro cúbico de concreto vs asentamiento para a/c=0.60.....	28
Tabla 17: Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60 con %AF=53%	29
Tabla 18: Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60 con %AF=50% (-3%AF)	29

Tabla 19: Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto $a/c=0.60$ con $\%AF=56\%$ ($+3\%AF$)	30
Tabla 20: Resistencia a la compresión de probetas para variaciones porcentuales de agregado fino para $a/c=0.60$	30
Tabla 21: Diseño de concreto patrón 1 para $a/c=0.60$	31
Tabla 22: Diseño de concreto con $a/c=0.65$ para diferentes cantidades de agua.	32
Tabla 23: Diseño con 217L de agua por metro cúbico de concreto de $a/c=0.65$ con variaciones porcentuales en volumen de agregado fino ($\pm 3\%$).....	33
Tabla 24: Diseño del concreto patrón 2 con $a/c=0.65$	34
Tabla 25: Diseño de concreto con $a/c=0.70$ para diferentes cantidades de agua.	34
Tabla 26: Diseño con 215L de agua por metro cúbico de concreto de $a/c=0.70$ con variaciones porcentuales en volumen de agregado fino ($\pm 3\%$).....	35
Tabla 27: Diseño del concreto patrón 3 con $a/c=0.70$	36
Tabla 28: Replanteo de densidad del aditivo líquido.....	36
Tabla 29: Dosificación del aditivo acelerante recomendada en su ficha técnica	37
Tabla 30: Código de diseños y dosificación de aditivo en los diseños patrón	37
Tabla 31: Dosificación de CP1-AD1	38
Tabla 32: Dosificación de CP1-AD2	38
Tabla 33: Dosificación de CP1-AD3	39
Tabla 34: Dosificación de CP2-AD1	39
Tabla 35: Dosificación de CP2-AD2	40
Tabla 36: Dosificación de CP2-AD3	40
Tabla 37: Dosificación de CP3-AD1	41
Tabla 38: Dosificación de CP3-AD2	41
Tabla 39: Dosificación de CP3-AD3	42
Tabla 40: Precisión de resultados de ensayo a compresión	45
Tabla 41: Trabajabilidad del concreto de los 12 diseños	47

Tabla 42: Peso unitario del concreto de los 12 diseños.	47
Tabla 43: Contenido de aire de los 12 diseños.	48
Tabla 44: Tiempo de fraguado de CP1	48
Tabla 45: Tiempo de fraguado de los 12 diseños.	49
Tabla 46: Exudación de los 12 diseños.	49
Tabla 47: Temperatura de vaciado de los 12 diseños.	50
Tabla 48: Resistencia a la compresión para CP1.	50
Tabla 49: Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños.....	52
Tabla 50: Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños.....	53
Tabla 51: Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños.....	54
Tabla 52: Análisis comparativo del Peso Unitario para CP1 ($a/c=0.60$).....	55
Tabla 53: Análisis comparativo del Peso Unitario para CP2 ($a/c=0.65$).....	56
Tabla 54: Análisis comparativo del Peso Unitario para CP3 ($a/c=0.70$).....	56
Tabla 55: Análisis comparativo del contenido de aire para CP1 ($a/c=0.60$).....	57
Tabla 56: Análisis comparativo del contenido de aire para CP2 ($a/c=0.65$).....	57
Tabla 57: Análisis comparativo del contenido de aire para CP3 ($a/c=0.70$).....	58
Tabla 58: Análisis comparativo del tiempo de fragua inicial de los 12 diseños	59
Tabla 59: Análisis comparativo del tiempo de fragua final de los 12 diseños	60
Tabla 60: Análisis comparativo de la exudación de los 12 diseños.....	62
Tabla 61: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$	64
Tabla 62: Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$	64
Tabla 63: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.65$	65
Tabla 64: Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.65$	66
Tabla 65: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$	67

Tabla 66: Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$	67
Tabla 67: Análisis de la resistencia a la compresión de los 12 diseños.....	69
Tabla 68: Diseño de concreto con $a/c=0.60$ y 5L por 100 Kg de cemento (CP1-AD4).....	71
Tabla 69: Diseño de concreto con $a/c=0.60$ y 7L por 100 Kg de cemento (CP1-AD5).....	71
Tabla 70: Análisis de los tiempos de fraguado inicial y final de los diseños con $a/c=0.60$ y todas las dosificaciones de aditivo.....	72
Tabla 71: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$	74
Tabla 72: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$	74

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Esquema de desarrollo de calor de hidratación del cemento	6
Figura 2: Esquema de hidratación de un grano de cemento en el tiempo.	7
Figura 3: Evolución de resistencias finales de concretos vaciados en un año y comparación con la temperatura de vaciado y curado.	11
Figura 4: Desarrollo de la resistencia a la compresión en diversas temperaturas	12
Figura 5: Curva granulométrica del agregado fino	16
Figura 6: Curva granulométrica del agregado grueso	17
Figura 7: Curva granulométrica del agregado global.....	18
Figura 8: Curva granulométrica del agregado global.....	19
Figura 9: Cantidad de agua por metro cúbico vs asentamiento para concreto $a/c=0.60$...	28
Figura 10: Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.60$	31
Figura 11: Cantidad de agua por metro cúbico vs asentamiento para concreto $a/c=0.65$...	32
Figura 12: Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.65$	33
Figura 13: Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.65$	34
Figura 14: Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.70$	35
Figura 15: Esquema de patrones de fracturas de probetas cilíndricas	45
Figura 16: Peso Unitario de los 12 diseños.....	56
Figura 17: Contenido de aire de los 12 diseños	58
Figura 18: Tiempo de fragua inicial de los 12 diseños.....	59
Figura 19: Tiempo de fragua final de los 12 diseños	60
Figura 20: Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.60$	61
Figura 21: Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.65$	61
Figura 22: Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.70$	62
Figura 23: Exudación de los 12 diseños.....	63

Figura 24: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$	65
Figura 25: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.65$	66
Figura 26: Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$	68
Figura 27: Análisis de la resistencia a la tracción de los 12 diseños	69
Figura 28: Interpolación de las resistencias de las 3 relaciones a/c para estimar la resistencia a las 8 horas.	70
Figura 29: Tiempo de fragua inicial y final para los diseños con $a/c=0.60$	72
Figura 30: Curva de fragua de los diseños con $a/c=0.60$	73
Figura 31: Curva de fragua de los diseños con $a/c=0.60$	75

Lista de Fórmulas

	Pág.
Fórmula 1: Determinación de la exudación	44
Fórmula 2: Determinación del esfuerzo de tracción.	46

Lista de símbolos y siglas

% CH	: Contenido de humedad.
%AB	: Absorción.
%AF	: Porcentaje de arena fina.
°C	: Grado Celsius
°F	: Grado Fahrenheit.
a/c	: Relación agua cemento.
ACI	: American concrete institute.
ASTM	: American Society for testing and materials.
cm	: Centímetros.
f'c	: Resistencia a la compresión.
g/cm ³	: Gramo sobre centímetro cúbico.
g	: Gramo.
Kg	: Kilogramo.
Kg/cm ²	: Kilogramo sobre centímetro cuadrado.
Kg/m ³	: Kilogramo por metro cúbico.
Kgf	: Kilogramo fuerza.
L	: Litros
lb	: Libra.
LEM	: Laboratorio de ensayo de materiales.
m.s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar
MF	: Módulo de finura.
min	: Minuto.
ml	: Mililitros.
mm	: Milímetros.

MPa	: Mega pascales.
NTP	: Norma técnica peruana.
p ³	: Pies cúbicos
PE	: Peso específico.
PSI	: Libra por pulgada cuadrada.
PUC	: Peso unitario compactado.
pulg	: Pulgada.
PUS	: Peso unitario suelto.
TMN	: Tamaño máximo nominal.

Prólogo

En la actualidad se está masificando el uso de los aditivos a fin de modificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, debido a los requerimientos de este material de construcción en el mercado, esto genera que cada vez hay más opciones y alternativas de aditivos, mejorando algunas fórmulas o explorando nuevas tecnologías. Es recomendable que las investigaciones de las propiedades del concreto usando estos aditivos, deben ir de la mano del avance de las tecnologías en el mercado.

En la presente investigación se explora las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de mediana a baja resistencia, añadiendo un aditivo acelerante líquido, el diseño de mezcla se realizó tomando como punto de partida tres relaciones de agua cemento ($a/c = 0.60, 0.65, 0.75$) y permutando con tres dosificaciones de aditivo acelerante líquido según recomendación del fabricante (2, 3 y 4 litros de aditivo por cada 100 kg de cemento), de este modo tener un comparativo entre el concreto preparado sin aditivo y con el uso de aditivo líquido.

En el desarrollo de la investigación plantea inicialmente el estudio de las propiedades de los materiales para la fabricación del concreto, posteriormente se desarrolla el diseño de mezcla utilizando el método del agregado global, y el uso de aditivos para los diseños, finalmente se exploran las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

Asesor.

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

El desarrollo de la construcción en concreto generó constantemente nuevos retos, los cuales llevaron a refinar procesos, mejorar la calidad de sus componentes, el desarrollo de nuevas tecnologías para los productos conocidos y la investigación de nuevos componentes para el concreto, a fin de resolver los desafíos a los que esta industria afronta, se planteó el uso de adiciones y aditivos.

1.2 Planteamiento de la realidad problemática

El requerimiento de las características del concreto es diversa en todos los casos, se puede observar, por ejemplo, la necesidad de obtener tiempos de fraguado menores y generar altas resistencias tempranas para afrontar escenarios tales como cambios drásticos de temperatura en zonas donde se presentan friajes o heladas, obras en las cuales es necesario el rápido fraguado del concreto antes de la subida de las mareas para evitar el lavado o zonas en climas impredecibles, en general no se debe permitir que el agua de lluvia incremente el agua de mezclado o dañe el acabado superficial del concreto (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción [SENCICO], 2019). Así como en obras donde se requiera desencofrados tempranos u obras que se requiera su rápida puesta en marcha.

El fenómeno de las heladas ocurre sobre los 3000 m.s.n.m. en zonas del ande peruano (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], s.f.), tomando en cuenta que, en regiones como Puno, Cusco, Junín, Huancavelica, etc. Existen ciudades que se encuentran en este rango y se ejecutan obras de concreto de diversas magnitudes de importancia. La influencia de climas fríos impacta de manera negativa a la resistencia del concreto (entre sus principales efectos), para evitar estos efectos negativos, se desarrollan adiciones y aditivos, en el caso específico de los aditivos acelerantes, se encuentra gran variedad en el mercado y se hace necesario el estudio de las propiedades del concreto con su uso.

Es importante mencionar que se establece los requisitos para las características del concreto fresco y endurecido con el uso de aditivos químicos en la norma peruana (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2021f), sin embargo, el estudio de las propiedades que deben cumplir estos requisitos deben realizarse en las condiciones donde se ejecutara la obra, teniendo en cuenta el contexto, por ejemplo, se vieron diversos casos en los que se estudiaron aditivos acelerantes, en los cuales los aditivos en lugar de reducir el tiempo de fragua, los aumentaban, si bien es cierto, para su venta el fabricante debe demostrar el

funcionamiento correcto de su producto, no siempre se da así en condiciones de campo por diversos motivos, como el caso de la calidad de los materiales usados, condiciones físicas como temperatura, o habilidad del personal a cargo de la elaboración del concreto entre otras.

De acuerdo a Medina (2001) en su investigación muestra que en los ensayos realizados en estado fresco y endurecido del concreto patrón comparado con concreto usando un aditivo comercializado como acelerante, las resistencias a los 7 y 28 días fueron menores a las resistencias del concreto patrón, los tiempos de fraguados resultaron superiores, en otras palabras, el producto utilizado tenía propiedades como aditivo retardante de fragua y reducía la resistencia del concreto endurecido. El componente que se usó como aditivo acelerante, se clasifica dentro de las sales orgánicas solubles, tomando como base el metanoato de sodio.

En la misma línea, se pudo revisar diversas investigaciones respecto a los aditivos acelerantes, tanto sólidos como líquidos, como Juchani (2020) que estudió un aditivo comercializado como acelerante que logró reducir el tiempo de fragua inicial y final, y logró cumplir con lo establecido en la normativa respecto a sus resistencias a los 3 y 7 días, mas no logró cumplir con la resistencia a los 28 días, en cuanto a Huaraca (2021) este mostró la influencia de otra tecnología que logra cumplir con la reducción de tiempos de fragua inicial y final y no cumple con las resistencias tempranas ni a los 28 días. El componente que se usó como aditivo acelerante, se clasifica dentro de las sales orgánicas solubles, tomando como base el nitrato de calcio.

Pucutuni, Arias (2019) en su investigación en la que se desarrolla la influencia de un aditivo acelerante líquido y otros aditivos para el uso de concreto de altas resistencias iniciales, en las que muestra un incremento de resistencias a las 24 horas respecto del concreto patrón en el orden del 4% para concretos de uso vial de alta resistencia. El componente que se usó como aditivo acelerante, se clasifica dentro de los aditivos sólidos varios, tomando como base el silicato de calcio hidratado, en combinación con un aditivo plastificante.

Otras investigaciones como la de Ninaya y Melgar (2016) en su tesis muestran la influencia de un aditivo líquido basado en la adición de CSH junto a un aditivo plastificante para el diseño de un concreto auto compactado, en el cual se logra reducir los tiempos de fraguado y aumentar la resistencia inicial, sin embargo, no exploró la influencia solo del aditivo acelerante para concretos convencionales de mediana a baja resistencia con slump de 3" a 4".

Como se vio en párrafos anteriores, existe la necesidad de seguir investigando las nuevas tecnologías en el mercado a fin de asegurar su uso en las condiciones en las que se requieran a través del estudio de las propiedades del concreto preparado con estas nuevas tecnologías. En la presente investigación se planteó el estudio del concreto de mediana a baja resistencia usando con el uso de tecnologías basadas en la adición de CSH para su uso como aditivo acelerante líquido, el estudio de las propiedades de este concreto en estado fresco y endurecido y su comparación con el concreto patrón de igual relación a/c.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar y analizar la influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto de mediana a baja resistencia con relaciones agua cemento (a/c) de 0.60, 0.65 y 0.70 con el uso de tecnologías basadas en la adición de CSH para su uso como aditivo acelerante al concreto en diferentes dosificaciones y cemento portland tipo I.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físicas de los agregados y el producto utilizado como aditivo acelerante líquido para la realización de los diseños de mezcla del concreto patrón y concreto con aditivo.
- ✓ Comparar y analizar los resultados de las propiedades del concreto patrón con el concreto con el uso de tecnologías basadas en la adición de CSH para su uso como aditivo acelerante, en su estado fresco y endurecido, verificar que dosificación es la más adecuada.
- ✓ Verificar que el concreto preparado con él la adición de CSH para su uso como aditivo acelerante líquido cumpla con los requisitos técnicos establecidos por la norma técnica peruana.

1.4 Hipótesis

El uso tecnologías basadas en la adición de CSH para su uso como aditivo acelerante, frente a otras adiciones al concreto, permitirá mejorar las propiedades del concreto fresco y endurecido de mediana a baja resistencia con asentamientos entre 3" a 4", en caso del concreto endurecido permitirá incrementar las resistencias tempranas a los 3 días, en el caso de las propiedades del concreto fresco, reducirá los tiempos de fraguado inicial y final.

Capítulo II. Marcos Teórico y Conceptual

2.1 El concreto

2.1.1 Generalidades

En la actualidad, el concreto es uno de los materiales de construcción de mayor uso en el Perú y el mundo debido a la facilidad para adquirir diversas formas, alta resistencia, versatilidad para combinarse con diversos métodos constructivos y su bajo costo entre otros.

El concreto suele ofrecer altas resistencias a compresión al igual que las piedras naturales, sin embargo, bajas resistencias tracción que es aproximadamente el 10% de la resistencia a la compresión (Sánchez, 2001), y bajas resistencias a la flexión, esto limita mucho el uso del concreto en elementos estructurales que soportan este tipo de esfuerzos, debido a esto se masifico el uso del concreto con refuerzo de acero corrugado para complementar estas falencias, haciendo al concreto armado un elemento estructural más completo y económico.

2.1.1.1. Definición.

Se define como concreto a la mezcla de un aglutinante, generalmente cemento, agregados y agua en su forma más simple, a esta mezcla se pueden añadir adiciones o aditivos para mejorar alguna de las características del concreto.

Cemento: material que tiene la propiedad de reaccionar con el agua para fraguar y endurecer, en la formación del concreto, este puede aglutinar al agregado para dotarle de propiedades mecánicas parecidas a la roca en estado endurecido, tiene propiedades cohesivas como adhesivas.

Propiedades químicas:

El Clinker del que está formado el cemento portland, está formado por silicatos, aluminatos, ferroaluminato de calcio, el porcentaje aproximado de estos componentes se presenta en la Tabla N°1.

Tabla 1*Compuestos del cemento portland*

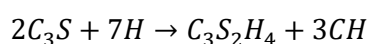
Nombre del compuesto	Composición del óxido	Abreviatura	Contenido (%)	Influencia en el cemento
Silicato tricálcico	3CaOSiO ₂	C ₃ S	20-70	Desarrollo de resistencia inicial y fraguado
Silicato dicálcico	2CaOSiO ₂	C ₂ S	5-50	Desarrollo de resistencia final
Aluminato tricálcico	3CaOAl ₂ O ₃	C ₃ A	1-15	Resistencia inicial y calor de hidratación
Ferroaluminato tetracálcico	4CaOFe ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	C ₄ AF	1-17	--

Fuente: (Sánchez, 2001).

Hidratación del cemento:

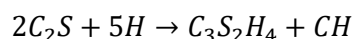
Representa a las reacciones químicas del cemento en contacto con el agua, en esta etapa se definen las propiedades del cemento o la mezcla cementosa, para entender mejor, estudiaremos las reacciones químicas de sus componentes por separado:

Silicato tricálcico:



(Silicato tricálcico) + (agua) → (CSH) + (Hidróxido de calcio)

Silicato dicálcico:



(Silicato tricálcico) + (agua) → (CSH) + (Hidróxido de calcio)

Los silicatos suelen formar silicato cálcico hidratado e hidróxido de calcio, sin embargo, la velocidad de reacción es mayor para el silicato tricálcico.

Aluminato tricálcico

Es el compuesto más reactivo con el agua, por ello se agrega yeso (sulfato de calcio hidratado) para controlar el fraguado rápido, esta reacción genera mayor calor de hidratación.

Ferroaluminato tetracálcico:

Forma productos similares a la de C3A, pero su reacción es más lenta, se controla su reacción con la presencia de yeso.

El estudio de la hidratación del cemento se enfocará en las propiedades de la pasta de cemento, que es la mezcla de cemento con agua, en la Tabla N°2 se muestra el proceso de hidratación del cemento portland.

Tabla 2

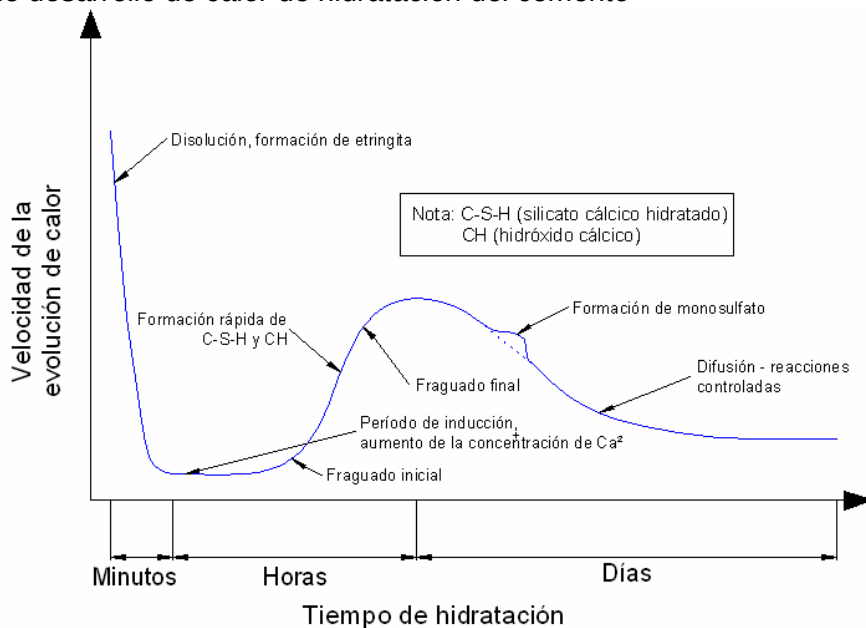
Proceso de hidratación del cemento

Etapas de la reacción	Procesos químicos	Procesos físicos	Influencia en las propiedades mecánicas
Primeros minutos	Rápida disolución inicial de sulfatos y aluminatos de álcali; hidratación inicial de C_3S .	Alta velocidad de evolución de calor	Los cambios en la composición de la fase líquida pueden influir en el fraguado.
De 1 a 4 horas	Disminución del silicato, pero aumento de la concentración de iones Ca^{2+} ; se inicia la formación de núcleos de CH y C-S-H, la concentración de Ca^{2+} alcanza un nivel de supersaturación.	Formación de los primeros productos de la hidratación; baja velocidad de evolución del calor.	La formación de cristales con forma de barra o placa por balance inadecuado de los iones de aluminato y sulfato pueden influir en el fraguado y la trabajabilidad. La hidratación de los silicatos de calcio determina el fraguado final.
Aprox. de la tercera a la doceava hora	Rápida reacción química de los silicatos de Ca para formar C-S-H y CH; disminución de la supersaturación de Ca^{2+} .	La rápida formación de hidratos provoca una disminución en la porosidad; alta velocidad de evolución de calor	Fraguado inicial; cambio de consistencia plástica a rígida; desarrollo de la resistencia temprana; fraguado final.
Etapas post-aceleración	Formación de CH y C-S-H controlada por difusión; recristalización de etringita a monosulfato y polimerización de posibles silicatos.	Disminución en la evolución de calor. Continua disminución de la porosidad. Formación de la adherencia entre partículas y entre la pasta y el agregado	Continuo desarrollo de la resistencia a velocidad decreciente. La porosidad y la morfología del sistema hidratado determina la resistencia final, la estabilidad del volumen y la durabilidad.

Fuente: (Sánchez, 2001).

Figura 1

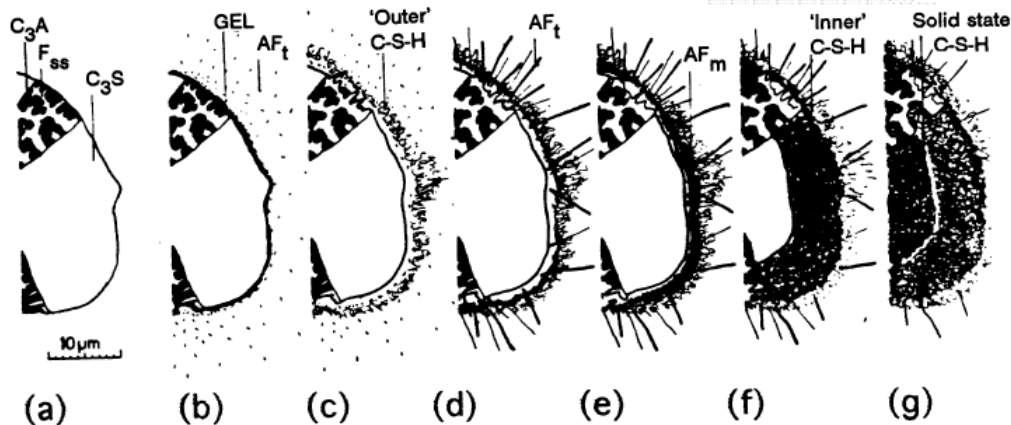
Esquema de desarrollo de calor de hidratación del cemento



Fuente: (Ortiz, 2005)

Figura 2

Esquema de hidratación de un grano de cemento en el tiempo.



Fuente: (Ortiz, 2005)

(a) y (b) corresponden a los primeros minutos del proceso de hidratación.

(c) y (d) hasta las 18 horas, formación de gel C-S-H y formación de AF_t (etringita) por la hidratación secundaria del C_3A .

(e) y (f) hasta los 14 días formación de fase solidad de C-S-H.

(g) Años, la fase ferrita permanece sin reaccionar.

Agregados: materiales naturales o artificiales que cumplen con ciertos estándares de tamaño, peso y resistencia para la preparación del concreto.

Agua: material que dentro del concreto tiene la función de hidratar al cemento para que desarrolle su propiedad de aglutinar, posteriormente fraguar y endurecer.

Aire: en el proceso de elaboración del concreto, es natural que se incluya aire a la mezcla, el cual puede ser liberado en el proceso de compactación o vibrado, sin embargo, siempre queda un porcentaje de aire atrapado dentro de la mezcla. El porcentaje de aire se puede incrementar mediante el uso de aditivos según sea necesario.

Aditivos: Son componentes químicos que, al ser agregado al concreto en su etapa de mezcla, reacciona químicamente para modificar las características del concreto. En el caso del aditivo acelerante, este se adiciona a la mezcla del concreto para, entre las principales características, alcanzar mayores resistencias a edades tempranas y acelerar el tiempo de fraguado (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2020).

La proporción de los materiales para la elaboración del concreto determina ciertas características en este en su estado fresco y endurecido.

2.1.2 Propiedades del concreto en estado fresco

Estudiaremos algunas propiedades en el concreto en estado fresco, algunas de estas influyen en las propiedades del concreto endurecido, tales como el asentamiento, contenido de aire, etc. Esto dependerá de su modo de preparación, dosificación, puesta en obra, etc.

2.1.2.1. Trabajabilidad.

La trabajabilidad se define como la propiedad intrínseca del concreto que permite su colocación, al margen del sistema constructivo asociado, su procedimiento se encuentra especificados en la norma NTP 339.035 (INACAL, 2022).

2.1.2.2. Peso unitario.

Se define como el peso por unidad de volumen del concreto en estado fresco.

2.1.2.3. Tiempo de fraguado.

El fraguado es la ganancia de rigidez de la pasta de cemento en una mezcla de concreto o mortero, producto de reacciones químicas exotérmicas gracias a la adición de agua al cemento, el tiempo de fraguado es el tiempo transcurrido desde la mezcla de cemento con agua en una mezcla cementosa hasta que gana cierta rigidez establecida por el procedimiento de la norma (INACAL, 2017b).

- ✓ *Fraguado inicial:* se define como el tiempo en el que la mezcla cementosa deja de tener capacidad de “replastificarse” por medios mecánicos (Gomezjurado Sarria, et al., 2010).
- ✓ *Fraguado final:* se define como el punto en el que la mezcla cementosa empieza a ganar resistencia (Gomezjurado Sarria, et al., 2010).
- ✓ *Falso fraguado:* se define como la rápida ganancia de rigidez de la pasta de cemento en la mezcla de concreto o mortero sin ganancia de calor en la mezcla, esta rigidez en la mezcla desaparece con la mezcla del concreto o mortero sin adición de agua.

2.1.2.4. Exudación.

Es el proceso en el cual el agua de una mezcla cementosa sube a la superficie del mismo como un proceso especial de segregación o sedimentación, este proceso se produce durante el tiempo de fraguado.

2.1.2.5. Contenido de aire.

Durante la operación de mezclado del concreto es introducido un volumen de aire, este es llamado “aire naturalmente atrapado”, el volumen de aire dependerá del diseño de mezcla entre otras cosas. El proceso de colocación del concreto contempla la eliminación parcial de este aire atrapado por medios mecánicos como el varillado o vibrado. (INACAL, 2017c)

2.1.2.6. Temperatura del concreto.

La temperatura del concreto influye de manera directa en algunas propiedades del concreto, como el tiempo de fraguado, asentamiento o contenido de aire, por tanto, es una característica a tener en cuenta. La temperatura del concreto en estado fresco depende del aporte de cada material, recordemos que el proceso de fraguado del concreto es exotérmico, es así que el cemento tiene un aporte más importante, pero también afecta la temperatura del agua y los agregados, su calor específico y la temperatura y humedad del ambiente, la temperatura recomendada del concreto fresco es de entre 13°C (ACI, 2010c) y 32°C en climas cálidos (Sánchez, 2001). La colocación del concreto en climas extremos comprende algunas características a tener en cuenta como la temperatura del encofrado, o temperatura ambiente.

2.1.3 Propiedades del concreto en estado endurecido

Existen varios tipos de esfuerzos a los que el concreto es sometido, en la presente investigación exploraremos la resistencia a la tracción y la resistencia a la compresión, para ello veremos algunos factores que afectan en el desarrollo de la resistencia del concreto.

2.1.3.1. Resistencia a la compresión.

Se define como el esfuerzo que soporta un espécimen de concreto, en este caso un cilindro de 10x20 cm, producto de aplicarle una fuerza en sentido axial a su eje principal, manteniendo constantes factores como diseño o forma del espécimen, muchos de los esfuerzos del concreto se pueden aproximar con el valor de la resistencia a la compresión

2.1.3.2. Resistencia a la tracción.

En la presente investigación se realizará el estudio de la resistencia a tracción indirecta, la cual es generalmente mayor que la resistencia de tracción directa e inferior a la resistencia a la flexión (INACAL, 2017a).

Se aplica la carga diametral a la muestra cilíndrica, el concreto falla por tracción antes de que falle por compresión, se registra la carga en kilogramo fuerza (Kgf) y se realiza el cálculo de tracción con el promedio de la altura del cilindro y el promedio del diámetro.

2.2 Efecto de la temperatura en el concreto

Como ya vimos, la temperatura suele modificar algunas de las propiedades del concreto fresco y endurecido, este aspecto es importante puesto que veremos la importancia de esta para el desarrollo y uso de ciertos aditivos en el concreto como solución para dichos problemas.

2.2.1 El concreto en temperaturas altas

Las condiciones para determinar el caluroso para el concreto es aquel con temperatura ambiental alta, alta temperatura del concreto, baja humedad relativa, radiación solar alta; las temperaturas ambientales pueden estar en el rango de 35-40°C (American Concrete Institute [ACI], 2010a). En cuanto a los efectos de estas condiciones para el concreto podemos ver:

Estado fresco:

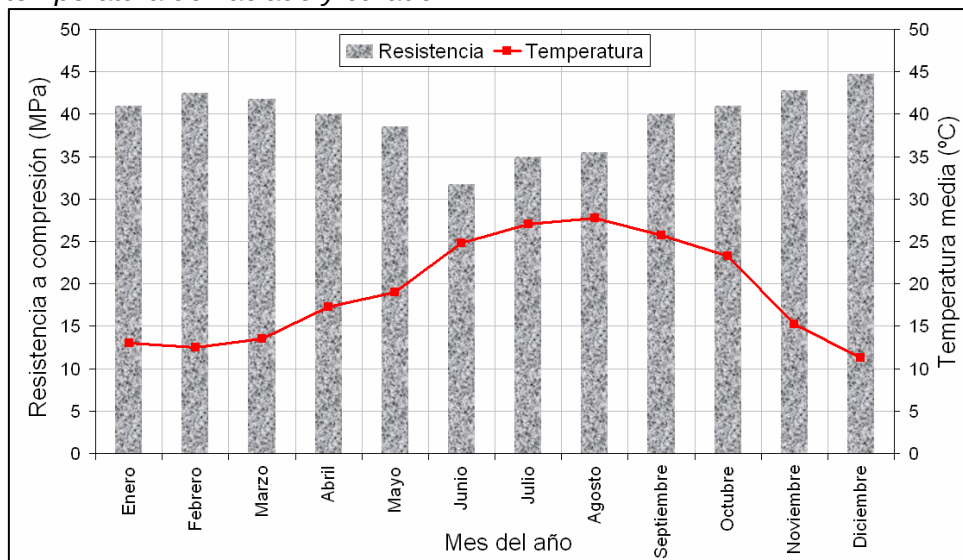
- La pérdida rápida de la trabajabilidad, la cual se genera por la pérdida rápida de la humedad del concreto y la rápida hidratación del cemento.
- El tiempo de fraguado a temperaturas más altas es menor, a una temperatura de 35°C el tiempo de las reacciones químicas del cemento es el doble que a 20°C (Ortiz, 2005).
- Se puede generar retracción plástica en caso de que la exudación sea más lenta que la evaporación de la película de agua en la superficie del concreto.

Estado endurecido:

- Las resistencias iniciales del concreto son mayores que en condiciones normales, sin embargo, se pudo apreciar que la resistencia final se ve afectada negativamente, tal como se muestra en la figura 3, en la que se aprecia un análisis del concreto vaciado en meses de todo el año y como resultaron sus resistencias finales, respecto de la temperatura en la que fueron vaciados y curados en la ciudad de Barcelona, se aprecia que en meses de verano con temperaturas mayores, las resistencias finales fueron menores.

Figura 3

Evolución de resistencias finales de concretos vaciados en un año y comparación con la temperatura de vaciado y curado.



Fuente: (Ortiz, 2005)

Una de las razones de este efecto, es porque la hidratación del cemento a mayores temperaturas es más rápida, lo cual hace que se formen los cristales de C-S-H más rápido, esto hace que las resistencias iniciales sean mayores, sin embargo, la formación de estos cristales de manera más rápida general que no se llenen los poros capilares de la pasta de cemento, esto compromete las resistencias finales (Ortiz, 2005).

La solución para los problemas asociados a las altas temperaturas suelen ser cementos de bajo calor de hidratación, aditivos retardantes y aditivos reductores de agua por el control de asentamiento.

2.2.2 Concreto en climas fríos

No es recomendable que la temperatura ambiente este por debajo de 4°C a la hora de la preparación del concreto y vaciado del mismo, en este caso se recomienda proteger el concreto de los efectos del frio (ACI, 2010b).

La principal problemática que se encuentra en el caso de el vaciado a bajas temperaturas, es que el agua de la mezcla se congele, cortando el proceso de hidratación del concreto y comprometiendo las propiedades mecánicas del mismo.

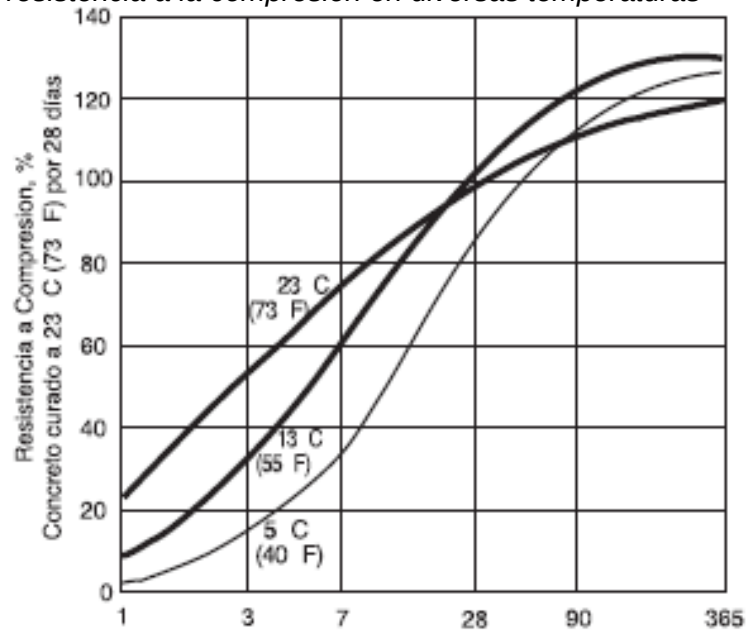
Así mismo se puede destacar el efecto de los ciclos de congelamiento a los que el concreto podría estar expuesto, por lo cual se recomienda la incorporación de aire, tratar de que se minimice la exposición a la humedad y el adecuado curado del concreto antes del primer ciclo de congelamiento.

Es recomendable cuidar la buena calidad de los materiales para la preparación del concreto, asimismo se recomienda las bajas relaciones agua-cemento (ACI, 2010b).

Torres (2015) en su tesis se muestra una relación entre el desarrollo de la resistencia del concreto a diferentes temperaturas, se puede notar que a bajas temperaturas se alcanzan bajas temperaturas iniciales, pero se desarrollan mayores temperaturas a mayores edades, como se muestra en la figura N°4:

Figura 4

Desarrollo de la resistencia a la compresión en diversas temperaturas



Fuente: (Torres, 2015)

Por otro lado, en la investigación de Ortiz (2005) se recopila información respecto del efecto de la temperatura en el desarrollo de la resistencia del concreto, evidenciando que a menores temperaturas las resistencias iniciales son menores, y las resistencias finales son mayores que los concretos expuestos a temperaturas altas.

Recomendaciones:

- No se recomienda vaciar el concreto en superficies que estén a una temperatura menor a 1.7°C puesto que puede conducir al congelamiento del agua de la mezcla.
- No se recomienda realizar el vaciado a temperaturas ambientales menores a 4°C.
- Para evitar el congelamiento del agua de la mezcla, es necesario que antes del ciclo de congelamiento se llegue a una resistencia a la compresión mínima de 35kg/cm² que es el momento aproximado en el que el agua se combinó con el cemento, evitando el congelamiento.

- Se indican ciertos requerimientos a tomar en cuenta para concretos en ciclos de congelamiento, en la Tabla 3 se indica el contenido de aire incorporado que debe tener el concreto que estará expuesto a condiciones de ciclos de temperaturas extremos (SENCICO, 2019).

Tabla 3

Contenido de aire incorporado para las mezclas expuestas a ciclos de congelamiento.

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Contenido de aire (en porcentaje)	
	Exposición severa	Exposición moderada
9.5	7.5	6.0
12.5	7.0	5.5
19.0	6.0	5.0
25.0	6.0	4.5
37.5	5.5	4.5
50.0	5.0	4.0
75.0	4.5	3.5

Fuente: (SENCICO, 2019)

- Para el caso de relaciones a/c y resistencia mínima a la compresión, se recomienda lo expuesto en la Tabla 4:

Tabla 4

Recomendaciones de a/c y resistencia a la compresión para concretos expuestos a bajas temperaturas.

Condición de exposición	Relación máxima agua-cementante (en peso) para concretos de peso normal	f'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros.
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.5	35
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0.45	35
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos des congelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.40	35

Fuente: (SENCICO, 2019)

Capítulo III. Materiales Empleados

3.1 Agregados

Son materiales de origen natural o artificial cuyas dimensiones se encuentran definidas en la publicación de INACAL (2021a), los límites granulométricos pueden ser tomados como criterio de aceptación, sin embargo, se establece que se permite el uso de agregados que no cumplan con estos límites siempre y cuando se demuestre mediante ensayos que el agregado fino produce un concreto con características satisfactorias (INACAL, 2021e). Para la preparación de concreto el material deberá estar limpio, debe ser de preferencia de perfil anguloso, rugoso, libre de partículas escamosas, duros, compactos y resistentes. (SENCICO, 2019).

3.1.1 Propiedades

En este apartado se presentan las propiedades físicas de los agregados, los procedimientos, cálculos y resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) UNI.

a. Módulo de finura: parámetro que permite definir qué tan fino o grueso es un material, se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulados de las mallas estandarizadas en el análisis granulométrico, dividido entre 100.

b. Tamaño máximo: corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso (INACAL, 2020a).

c. Tamaño máximo nominal: es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre el 5 y 10% (INACAL, 2021a).

d. Granulometría: se define como la distribución de las partículas de una masa de agregado por medio de tamizado, su análisis permite categorizar los agregados y establecer criterios de aceptación.

e. Peso unitario: se define como el peso por unidad de volumen, en este caso se considera el volumen de los vacíos que genera la agrupación de los agregados, tenga o no cierto grado de compactación (INACAL, 2020c).

e.1 Peso unitario suelto: no considera compactación en la determinación de volumen para una cantidad de masa

e.2 Peso unitario compactado: considera compactación en la determinación de volumen para una cantidad de masa

f. Contenido de humedad: permite establecer el porcentaje de humedad evaporable contenida en la superficie de los agregados (INACAL, 2021c).

g. Absorción y densidad o peso específico: la absorción es el aumento de masa de los agregados por sumergirlos en agua, en su condición de superficialmente seco (INACAL, 2019b), la densidad o peso específico es la relación de masa y volumen de una muestra de agregado, sin tomar en cuenta los espacios vacíos que se generan cuando se agrupan (INACAL, 2020b; INACAL, 2021b).

3.1.2 Agregado fino

Es el árido de origen natural o artificial que se queda retenido en la malla número 200 y que pasa por la malla 3/8" (INACAL, 2021a).

El agregado fino que se empleó para la presente investigación proviene de la cantera de Trapiche.

PROPIEDADES:

✓ Análisis granulométrico

Tabla 5

Granulometría del agregado fino

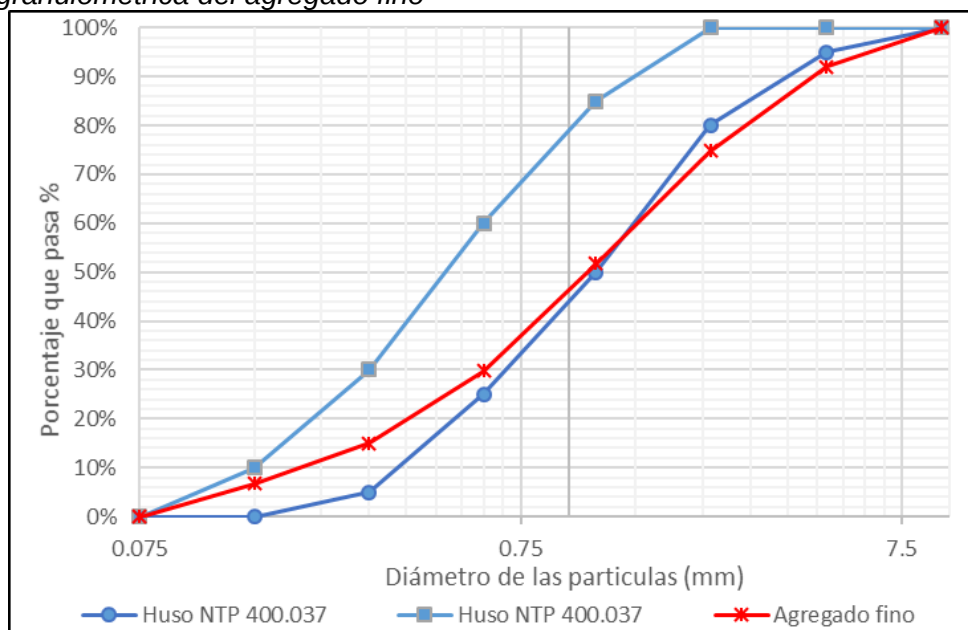
TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	Huso NTP 400.037	Huso NTP 400.037
1/2"	---	---	---	---	---	---
3/8"	---	---	---	100	100	100
N°4	39.88	7.98	7.98	92.02	95	100
N°8	85.91	17.18	25.16	74.84	80	100
N°16	115.70	23.14	48.30	51.70	50	85
N°30	109.81	21.96	70.26	29.74	25	60
N°50	73.98	14.80	85.06	14.94	5	30
N°100	41.03	8.21	93.26	6.74	0	10
FONDO	33.70	6.74	100.00	0.00	0	0
TOTAL	500	100.00				

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la curva granulométrica resultante:

Figura 5

Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

- ✓ Módulo de finura: $MF = 3.3$
- ✓ Peso unitario suelto (kg/m³): $PUS = 1,726$
- ✓ Peso unitario compactado (kg/m³): $PUC = 1,860$
- ✓ %CH agregado fino= 1.45
- ✓ %AB de agregado fino: 1.21
- ✓ PE: Peso específico de agregado fino: 2.68 g/cm³

Las características de los agregados están dentro de los parámetros normales, la granulometría se encuentra fuera de su uso granulométrico sin embargo la curva no presenta discontinuidades, por tanto, se decidió continuar con este agregado para la investigación.

3.1.3 Agregado grueso

Son los áridos de origen natural que proviene de la desintegración natural o artificial de la roca (INACAL, 2021a).

El agregado grueso que se empleó para la presente investigación proviene de la cantera de UNICON.

PROPIEDADES:

Tabla 6

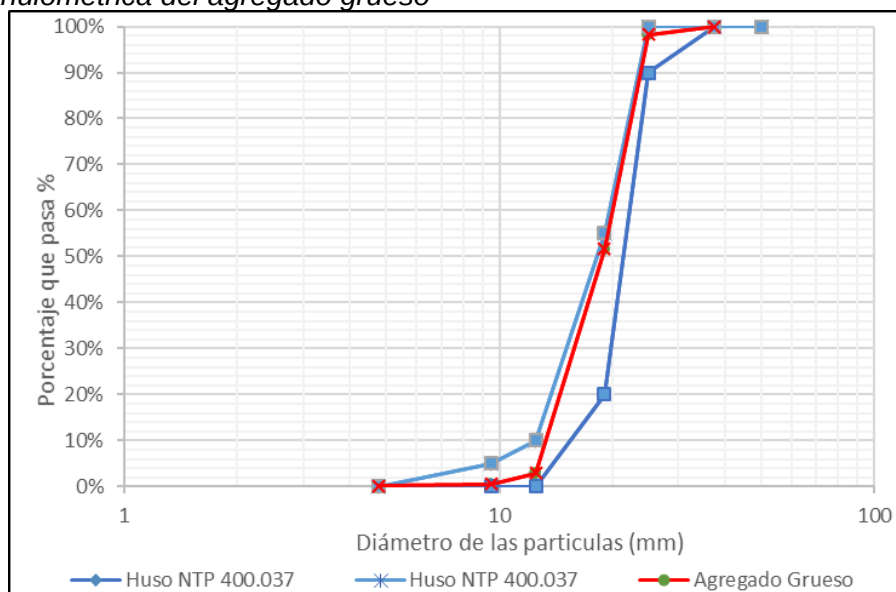
Granulometría del agregado grueso

TAMIZ	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA	Huso NTP 400.037	Huso NTP 400.037
2"	---	---	---	---	---	100
1 1/2"	---	---	---	---	100	100
1"	180.52	1.81	1.81	98.19	90	100
3/4"	4661.32	46.61	48.42	51.58	20	55
1/2"	4868.30	48.68	97.10	2.90	0	10
3/8"	226.14	2.26	99.36	0.64	0	5
N°4	44.64	0.45	99.81	0.19	0	0
FONDO	19.09	0.19	100.00	0	0	0
TOTAL	100.00	100.00				

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: elaboración propia

- ✓ Módulo de finura: $MF = 7.48$
- ✓ Tamaño máximo (TM) = 1 1/2"
- ✓ Tamaño máximo nominal (TMN) = 3/4"
- ✓ Peso unitario suelto (g/cm³): $PUS = 1.463$
- ✓ Peso unitario compactado (g/cm³): $PUC = 1.860$
- ✓ %CH agregado grueso= 0.41

- ✓ %AB de agregado grueso: 0.83
- ✓ PE: Peso específico de agregado grueso: 2.69 g/cm³

3.1.4 Agregado global

Conociendo las propiedades de los agregados fino y grueso, se siguió el procedimiento de peso unitario compactado, pero para la combinación de agregados fino y grueso en diferentes proporciones, con el propósito de determinar qué proporción nos brindaba mayor peso unitario compactado, este parámetro indica un mejor acomodo de los agregados, para cada proporción se tomaron 3 muestras y finalmente se promediaron, tal como se indica en la Tabla 9, y se graficaron los pesos unitarios compactados comparándolos con el porcentaje de arena fina que interviene en la mezcla.

Tabla 7

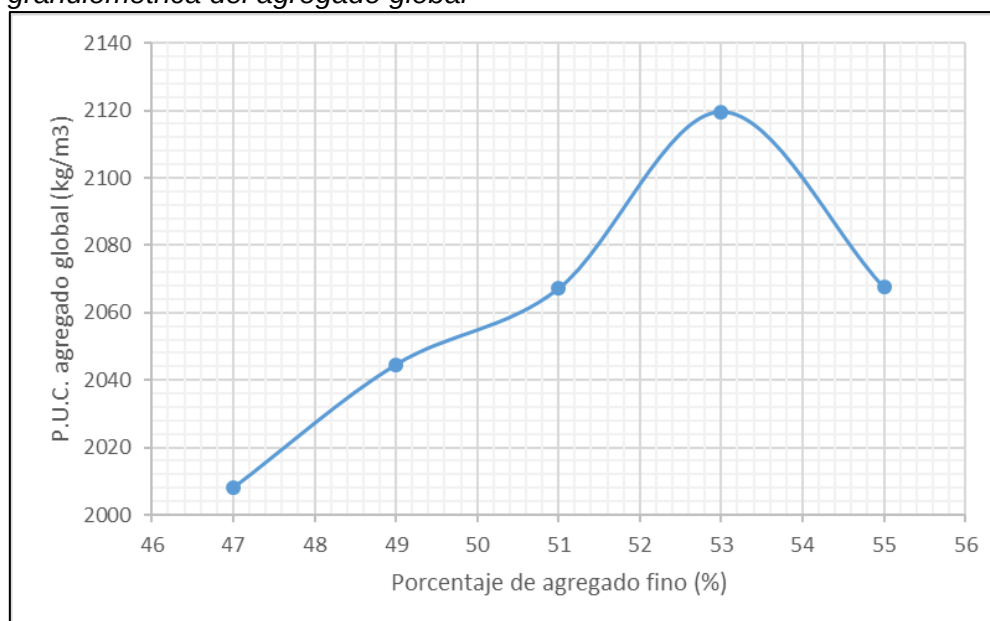
Peso unitario compactado del agregado global

AG (%)	AF (%)	M-1 (Kg)	M-2 (Kg)	M-3 (Kg)	P. Prom (Kg)	P. balde (Kg)	P.U.C Ag global (Kg)	Vol. balde (m ³)	Puc (Kg/ m ³)
53	47	23.50	23.24	23.25	23.33	4.34	18.99	0.00945754	2007.92
51	49	23.65	23.79	23.59	23.68	4.34	19.34	0.00945754	2044.58
49	51	23.92	23.90	23.85	23.89	4.34	19.55	0.00945754	2067.13
47	53	24.41	24.35	24.4	24.39	4.34	20.05	0.00945754	2119.65
45	55	23.96	23.75	23.97	23.89	4.34	19.55	0.00945754	2067.49

Fuente: elaboración propia

Figura 7

Curva granulométrica del agregado global



Fuente: elaboración propia

Veamos algunas características del agregado global resultante de la combinación en 53% de agregado fino como se muestra en la Tabla 8:

Tabla 8

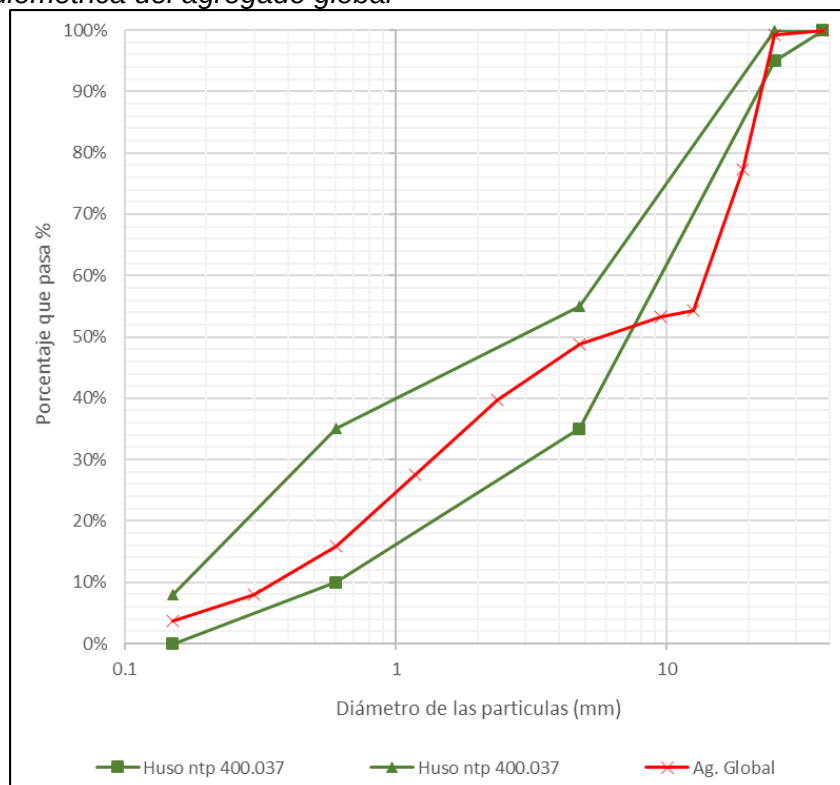
Granulometría del agregado global

TAMIZ (pulg)	% Retenido (%)		% Retenido (%53 AF)		% RET. COMB.	% RET. ACUM.	Ag. Global	Huso NTP 400.037	Huso NTP 400.037
	Ag. fino	Ag. grueso	AF (53%)	AG (47%)					
1 1/2"	--	--	0.00	0.00	0.00		100.00	100.00	100.00
1"	--	1.81	0.00	0.85	0.85	0.85	99.15	95.00	100.00
3/4"	--	46.61	0.00	21.91	21.91	22.76	77.24	--	--
1/2"	--	48.68	0.00	22.88	22.88	45.64	54.36	--	--
3/8"	--	2.26	0.00	1.06	1.06	46.70	53.30	--	--
N°4	7.98	0.45	4.23	0.21	4.44	51.14	48.86	35.00	55.00
N°8	17.18	--	9.11	0.00	9.11	60.24	39.76	--	--
N°16	23.14	--	12.26	0.00	12.26	72.51	27.49	--	--
N°30	21.96	--	11.64	0.00	11.64	84.15	15.85	10.00	35.00
N°50	14.80	--	7.84	0.00	7.84	91.99	8.01	--	--
N°100	8.21	--	4.35	0.00	4.35	96.34	3.66	0.00	8.00
FONDO	6.74	0.19	3.57	0.09	3.66	100.00	0.00	--	--

Fuente: elaboración propia

Figura 8

Curva granulométrica del agregado global



Fuente: elaboración propia

Como se observa, la curva granulométrica se sale en una zona de el huso correspondiente a su tamaño nominal recomendado en INACAL (2021a), la razón de ello es que el agregado grueso se encuentra mal graduado, lo cual genera una discontinuidad que tiene que rellenarla el agregado fino.

3.2 Cemento portland

3.2.1 Definición

Es un material aglomerante que al contacto con el agua tiene la propiedad de fraguar y endurecerse gracias a un proceso químico llamado hidratación.

En la presente investigación se utilizó cemento portland tipo I.

3.3 Agua

El agua, tanto para la preparación del concreto como para el curado o la limpieza de los equipos que se utilizaron para la preparación del concreto deberán ser de preferencia potable, en la presente investigación se utilizó el agua del LEM – UNI.

3.4 Aditivos

3.4.1 Definición

Se define como aditivos a productos químicos solubles en agua que modifican las características en estado fresco y endurecido de la pasta de cemento o mezclas cementosas como concreto o morteros, estas sustancias químicas se añaden antes, durante el amasado o en el amasado suplementario. (ACI, 2010b). Para el caso de la presente investigación, se hizo uso de aditivo acelerante.

3.4.2 Clasificación

La norma NTP 334.088 (INACAL, 2021f) establece 8 tipos de aditivos, los cuales son:

- I. Tipo A: Aditivos reductores de agua
- II. Tipo B: Aditivos retardadores
- III. Tipo C: Aditivos aceleradores
- IV. Tipo D: Aditivos reductores de agua y retardadores
- V. Tipo E: Aditivos reductores de agua y aceleradores
- VI. Tipo F: Aditivos reductores de agua de alto rango
- VII. Tipo G: Aditivos reductores de agua y retardadores

VIII. Tipo S: Aditivos de desempeño específico

Veamos ahora en la Tabla 9 los requisitos que se establece para entender mejor sus efectos sobre el concreto fresco y endurecido del aditivo acelerante.

Tabla 9

Requisitos físicos de aditivos acelerantes.

	Tipo C Acelerador
Contenido de agua, máx. % del control	--
Tiempo de fraguado, desviación permisible respecto al control horas-minutos	
Fraguado inicial: por lo menos	1:00 antes
no más de	3:30 antes
Fraguado final: por lo menos	1:00 antes
no más de	--
Resistencia a la compresión mínima, % con respecto al control	
1d	--
3d	125
7d	100
28d	100
90d	n/a
6 meses	90
1 año	90

Fuente: (INACAL, 2021f)

3.4.3 Aditivos acelerantes

Se define como aditivo acelerante a los que incrementan la velocidad de reacción de mezclas cementosas, aumentando el calor de hidratación, reduciendo el tiempo de fraguado e incrementando las resistencias iniciales del concreto endurecido (INACAL, 2021f).

Por diversos medios, los aditivos acelerantes suelen incrementar el calor de hidratación del concreto, y reducen su tiempo de hidratación, esto hace que el concreto en cualquier circunstancia, se comporte como si estaría expuesto a condiciones de altas temperaturas como vimos en el Capítulo II, haciendo que se acelere la cristalización ganando resistencias iniciales, pero dejando los poros capilares sin llenarse, esto hace que las resistencias finales se vean afectadas, veremos que la mayoría de aditivos acelerantes por esta razón suelen mantener o bajar sus resistencias finales.

Los aditivos acelerantes se pueden dividir en 4 grupos según el material del que se componen, y en consecuencia su influencia en el concreto (ACI, 2010b).

- a) Sales inorgánicas solubles: tales como cloruros, bromuros, fluoruros carbonatos, etc. Estudios sugieren que el funcionamiento de estos está vinculados a la aceleración del silicato tricálcico (Ramachandran, 1995). Su uso se vio restringido por que las adiciones de sales en el concreto promueven la corrosión del acero de refuerzo.
- b) Compuestos orgánicos solubles: tales como trietanolamina y formiato de calcio, suele vincularse su uso a la reacción del aluminato tricálcico, en cementos de menor contenido de aluminato tricálcico, estos aditivos suelen acelerar las resistencias tempranas.
- c) Aditivos de fraguado rápido: Se presume que estos aditivos actúan promoviendo el flash del fraguado del aluminato tricálcico, su uso está vinculado al fraguado rápido en hormigones a usarse en el concreto lanzado y fugas de presión hidrostática de sellado.
- d) Aditivos sólidos varios: en proporciones adecuadas se ha demostrado que la adición de silicatos puede ser usado como aditivo acelerante se han encontrado geles de sílice finamente dividida y silicatos de amonio cuaternario solubles para acelerar el desarrollo de fuerza a través de la aceleración de hidratación silicato tricálcico (ACI, 2010b).

3.4.4 Aditivo Master X-seed 100

Según información del fabricante, este es un aditivo líquido que contiene nano partículas de CSH (silicato de calcio hidratado) que aportan con la rápida hidratación del concreto formando núcleos de cristalización, esto permite aumentar las resistencias iniciales sin comprometer las resistencias finales (Master Builder Solutions, 2021)

- ✓ Modo de utilización y dosificación: se aplica en el periodo de mezclado de una mezcla cementosa, se recomienda la dosificación de entre 2 a 4 litros por 100 Kg de cemento
- ✓ Presentación: se suministra en garrafas de 25 Kg, con contenedores de 1150 Kg y a granel en cisterna
- ✓ Almacenamiento: se sugiere almacenar en lugares frescos con temperaturas superiores a 5°C.
- ✓ Manipulación: se deberán usar guantes y lentes para su manipulación
- ✓ Propiedades: se detallan en la tabla 10 tal como se indica en la ficha técnica.

Tabla 10*Propiedades de Master X-Seed 100*

Propiedades	
Función principal:	Activador de la hidratación del cemento
Función secundaria:	Inhibidor de la corrosión
Aspecto físico:	Líquido blanco
Densidad, 20°C	1.130 ± 0.02 g/cm ³
pH, 20°C:	10-11.4
Viscosidad Brookfield 20°C Sp00/20rpm	<275 cps.
Contenido de cloruros	<0.1%
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.	

Fuente: (Master Builder Solutions, 2021)

Capítulo IV. Diseño y Preparación del Concreto

4.1 Generalidades

En esta sección se revisará el procedimiento que se siguió para el diseño de concreto que se usó en la presente investigación.

El método de diseño que se eligió fue el método del Agregado Global, la cual consiste en la determinación de porcentajes de agregados fino y grueso que se colocara en la mezcla de concreto por medio del máximo peso compactado del agregado global. Este método de diseño busca obtener la mayor resistencia del concreto usando un tipo de agregado fino y grueso y una proporción a/c (agua / cemento) definida.

4.2 Procedimiento de diseño del concreto patrón por el método del agregado global

Se siguieron los siguientes pasos para el diseño del concreto por el método del agregado global.

1. Se definió un asentamiento, en este caso de 3 a 4"
2. Definimos un volumen de agua por metro cúbico de concreto, en este caso 210L, tomando como referencia la tabla 11 del manual ACI (1997).
3. Definimos el porcentaje de aire atrapado en 2%, tomando como referencia la tabla 11 para un TMN de $\frac{3}{4}$ ".

Tabla 11

Cantidad de agua aproximada y aire atrapado para diferentes asentamientos y tamaño nominal máximo de agregados

Water, lb/yd ³ of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, in.	$\frac{3}{4}$ in.*	$\frac{1}{2}$ in.*	$\frac{3}{4}$ in.*	1 in.*	1- $\frac{1}{2}$ in.*	2 in.* [†]	3 in.* [‡]	6 in.* [‡]
Non-air-entrained concrete								
1 to 2	350	335	315	300	275	260	220	190
3 to 4	385	365	340	325	300	285	245	210
6 to 7	410	385	360	340	315	300	270	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
1 to 2	305	295	280	270	250	240	205	180
3 to 4	340	325	305	295	275	265	225	200
6 to 7	365	345	325	310	290	280	260	—
More than 7*	—	—	—	—	—	—	—	—
Recommended averages [†] total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5** ^{††}	1.0** ^{††}
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5** ^{††}	3.0** ^{††}
Severe exposure ^{††}	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5** ^{††}	4.0** ^{††}

Fuente: (ACI, 1997)

4. Seleccionamos la relación agua cemento, en este caso se realizará para las siguientes proporciones: 0.6, 0.65 y 0.7.
5. Determinamos el peso y volumen del cemento que intervendrá en el volumen de 1 metro cúbico de concreto.

$$W_c = \frac{W_{agua}}{a/c}; \quad V_c = \frac{W_c}{PE_c}$$

Donde:

W_c= peso del cemento (kg)

W_{agua}= peso del agua (kg)

a/c= relación agua cemento

V_c= volumen del cemento

PE_c= peso específico del cemento

6. A continuación, la cantidad de agregados que se usarán en la preparación de 1 metro cúbico de concreto

$$V_{agregados} = 1 - (V_c + V_{agua} + V_{aire})$$

$$V_{af} = V_{agregados} \times \%AF; \quad V_{ag} = V_{agregados} - V_{af}$$

Donde:

V agregados: volumen de agregados (m³)

V af: Volumen de agregado fino (m³)

V ag: Volumen de agregado grueso (m³)

%AF: porcentaje de agregado fino determinado por el método de máximo peso unitario compactado del agregado global (53%)

7. Se determina el peso de agregados en la mezcla cementosa, por tanto, se multiplica por su peso específico asociado.

$$W_{afs} = V_{af} \times PE_{af}; \quad W_{ags} = V_{ag} \times PE_{ag}$$

Donde:

W afs: peso del agregado fino seco (kg)

W ags: peso del agregado grueso seco (kg)

PE af: Peso específico del agregado fino (Kg/m³)

PE ag: Peso específico del agregado grueso (Kg/m³)

8. Con los pesos de los agregados fino y grueso se determina el aporte de agua de los agregados, producto de la absorción y el contenido de humedad.

$$V_{ap\ af} = W_{afs}(CH_{af} - AB_{af}); V_{ap\ ag} = W_{ags}(CH_{ag} - AB_{ag})$$

Donde:

Vap af: volumen de aporte de agua del agregado fino (Lt)

Vap ag: volumen de aporte de agua del agregado grueso (Lt)

CH af: contenido de humedad de agregado fino (%)

CH ag: contenido de humedad de agregado grueso (%)

AB af: absorción de agregado fino (%)

AB ag: absorción de agregado grueso (%)

9. A continuación, debemos corregir el peso de los agregados por su contenido de humedad

$$W_{af} = W_{afs}(1 + CH_{af}); W_{ag} = W_{ags}(1 + CH_{ag})$$

Donde:

Waf: Peso natural del agregado fino (kg)

Wag: Peso natural del agregado grueso (kg)

10. Con la proporción de materiales para la mezcla de concreto, se calculará una dosificación en peso para una cantidad de 50 kg de concreto y se hallará el asentamiento, debido a que la cantidad de agua en el concreto es estimada en el método, si es que no se llega al asentamiento requerido, el agua se iterará hasta un asentamiento superior y uno inferior, finalmente se elaborará una aproximación lineal entre la cantidad de agua y el asentamiento, obteniendo así la proporción para cada diseño patrón de concreto.

Finalmente se realizará una corrección en el porcentaje de agregado fino en los agregados, con la cantidad de agua obtenida se harán variaciones porcentuales de $\pm 3\%$ del agregado fino y se elaboraran probetas, estas se ensayarán a los 7 días y se realizara una gráfica entre el %AF (porcentaje de agregado fino) vs $f'c$ (resistencia a la compresión del concreto a los 7 días en Kgf/cm²), mediante una aproximación grafica se calculara el porcentaje de agregado fino y grueso con los cuales obtendremos la máxima resistencia para cada proporción agua cemento

4.3 Diseños de concreto patrón para $a/c=0.60$, 0.65 y 0.70

Para este apartado, se repasarán las propiedades de los materiales con los cuales prepararemos el concreto, como indica en la tabla 12

Tabla 12

Propiedades de los agregados para diseño de mezcla.

PROPIEDADES	AG FINO	AG GRUESO	CEMENTO
PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)	2.68	2.69	3.12
ABSORCION (%)	1.2	0.84	--
CONT. DE HUMEDAD (%)	1.45	0.41	--
TA MX NOM	--	¾"	--

Fuente: elaboración propia.

4.3.1 Diseño patrón para $a/c=0.60$

Tabla 13

Diseño para 210L de agua por metro cúbico de concreto $a/c=0.60$

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C= 0.6	CEMENTO	350.00	0.11	350.00	--	350.00	7.47
%AF= 53	AGUA	210.00	0.21	210.00	--	211.24	4.51
	AGREGADOS	--	0.66	--	--	--	--
A(L)= 210	AGREGADO FINO	--	0.35	934.37	2.34	947.92	20.22
AIRE= 2%	AGREGADO GRUESO	--	0.31	831.68	-3.58	835.09	17.81
SLUMP= 2.5	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

Se determinó que el asentamiento no cumple con los requerimientos de estar entre 3 y 4 pulgadas, por lo cual se incrementará la cantidad de agua en 10 litros como se indica en la Tabla 14.

Tabla 14

Diseño para 220L de agua por metro cúbico de concreto $a/c=0.60$

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C= 0.6	CEMENTO	366.67	0.12	366.67	--	366.67	7.87
%AF= 53	AGUA	220.00	0.22	220.00	--	221.21	4.75
	AGREGADOS	--	0.64	--	--	--	--
A(L)= 220	AGREGADO FINO	--	0.31	912.58	2.28	925.81	19.87
AIRE= 2%	AGREGADO GRUESO	--	0.33	812.29	-3.49	815.62	17.51
SLUMP= 3.7	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Diseño para 230L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C=	0.6	CEMENTO	383.33	0.12	383.33	--	383.33	7.87
%AF=	53	AGUA	230.00	0.23	230.00	--	231.18	4.75
		AGREGADOS	--	0.63	--	--	--	--
A(L)=	230	AGREGADO FINO	--	0.33	890.79	2.23	903.70	19.87
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	--	0.29	792.89	-3.41	796.14	17.51
SLUMP=	4.7	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

Calculamos la cantidad de agua para asentamiento de 3.5 pulgadas con una aproximación lineal entre el agua y el asentamiento en la mezcla, tal como indica en la tabla 16 y la figura 9:

Tabla 16

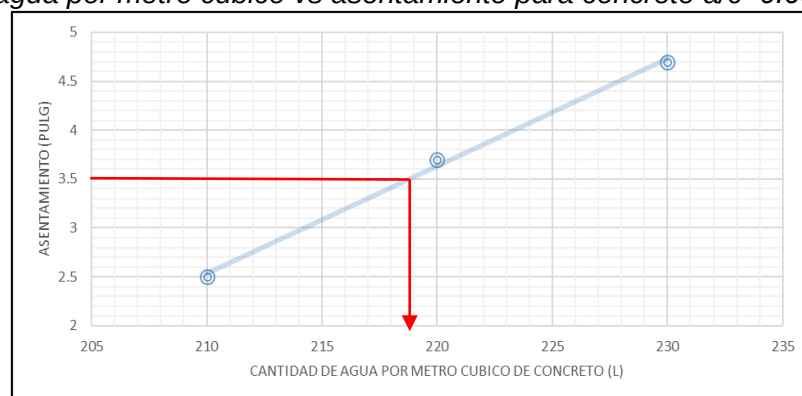
Cantidad de agua por metro cúbico de concreto vs asentamiento para a/c=0.60

Agua por m ³ de concreto (L)	Asentamiento (pulg)
210	2.5
220	3.7
230	4.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Cantidad de agua por metro cúbico vs asentamiento para concreto a/c=0.60



Fuente: elaboración propia

Se encontró el asentamiento requerido para una cantidad de agua de diseño de 219 litros por metro cúbico de concreto, como se indica en la tabla 17.

Tabla 17

Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60 con %AF=53%

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C=	0.6	CEMENTO	365.00	0.12	365.00	--	365.00	7.83
%AF=	53	AGUA	219.00	0.22	219.00	--	220.21	4.72
		AGREGADOS	--	0.64				
A(L)=	219	AGREGADO FINO	--	0.34	914.76	2.29	928.02	19.91
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	--	0.30	814.23	-3.50	817.56	17.54
SLUMP=	3.5	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra los diseños haciendo una variación del $\pm 3\%$ de agregado fino.

Tabla 18

Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60 con %AF=50% (-3%AF)

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C=	0.6	CEMENTO	365.00	0.12	365.00	--	365.00	7.83
%AF=	50	AGUA	219.00	0.22	219.00	--	220.57	4.73
-3%		AGREGADOS	--	0.64	--	--	--	--
A(L)=	219	AGREGADO FINO	--	0.32	862.98	2.16	875.49	18.78
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	--	0.32	866.20	-3.72	869.75	18.66
SLUMP=	3.5	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19

Diseño para 219L de agua por metro cúbico de concreto a/c=0.60 con %AF=56% (+3%AF)

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIAL	W (KG)	VOL (M3)	W. SECO (KG)	APORTE DE AGUA (L)	W. HUM. (KG)	PARA 50 KG
A/C=	0.6	CEMENTO	365.00	0.12	365.00	--	365.00	7.83
%AF=	56	AGUA	219.00	0.22	219.00	--	219.86	4.72
+3%		AGREGADOS	--	0.64	--	--	--	--
A(L)=	219	AGREGADO FINO	--	0.36	966.53	2.42	980.55	21.03
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	--	0.28	762.25	-3.28	765.38	16.42
SLUMP=	3.5	SUMA	--	0.98	--	--	--	50.00

Fuente: Elaboración propia

Se elaboraron probetas de los diseños presentados, los resultados de las resistencias al variar la cantidad de agregado fino se presentan en la tabla 20, la gráfica resultante de comparar el porcentaje de agregado fino vs la resistencia a la compresión de las probetas obtenidas de estos diseños, muestran una tendencia a maximizar la resistencia para 54% de agregado fino, tal como se muestra en la Figura 10:

Tabla 20

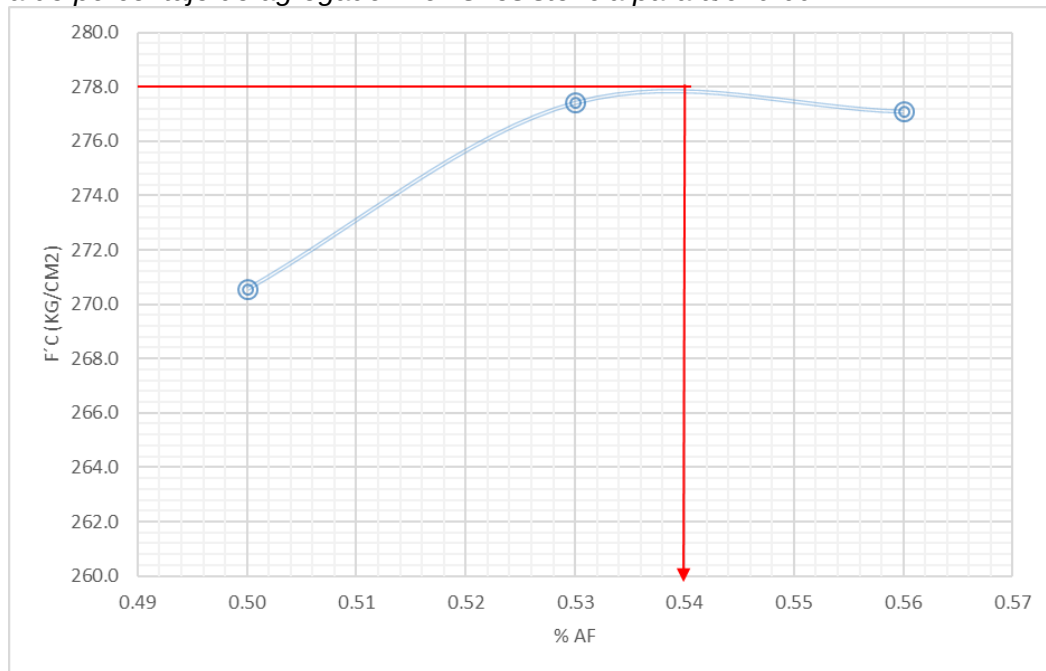
Resistencia a la compresión de probetas para variaciones porcentuales de agregado fino para a/c=0.60

IDENTIFICACIÓN	DIAMETRO		ALTURA		CARGA MAXIMA (Kgf)	F'c (Kgf/cm²)	PROMEDIO (Kgf/cm²)
	D1 (cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)			
a/c = 0.60 %AF=0.50	10.13	10.14	20.66	20.57	21606.1	267.8	270.6
	9.97	9.90	20.56	20.60	21341.0	275.3	
	9.96	10.02	20.58	20.50	20151.0	257.1	
	9.98	9.98	20.56	20.67	22068.0	282.1	
a/c = 0.60 %AF=0.53	10.10	10.04	20.48	20.52	22126.1	277.8	277.4
	10.05	10.00	20.44	20.65	21798.2	276.2	
	10.00	10.00	20.40	20.55	21807.5	277.7	
	10.00	10.00	20.50	20.55	21840.4	278.1	
a/c = 0.60 %AF=0.56	10.00	10.00	20.50	20.50	22050.3	280.8	277.1
	10.00	9.95	20.55	20.60	21480.5	274.9	
	10.03	10.06	20.50	20.50	21945.0	276.9	
	10.00	10.00	20.66	20.56	21667.0	275.9	

Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.60$



Fuente: Elaboración propia

Se concluyó que la proporción óptima de agregado fino para $a/c=0.6$ es de 54%, en consecuencia, el porcentaje óptimo del agregado grueso será de 46%, por tanto, la dosificación de materiales para el concreto patrón correspondiente a la relación $a/c = 0.60$, se especifica a continuación en la tabla 21. En la que se detalla la dosificación unitaria y la dosificación para una bolsa de cemento.

Tabla 21

Diseño de concreto patrón 1 para $a/c=0.60$

MEZCLA PATRON		MATERIALES	VOL (m³)	PESO HUMEDO (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO (Kg)	X BOLSA DE CEMENTO 42.5KG (Kg)
A/C=	0.60	CEMENTO	0.12	365.00	1.00	42.50
%AF=	54	AGUA	0.22	220.10	0.60	25.63
		AGREGADOS	0.64	--	--	--
A(L)=	219	AGREGADO FINO	0.35	945.53	2.59	110.10
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	0.30	800.17	2.19	93.17
SLUMP=	3.5	SUMA	0.98	2330.79	6.39	

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Diseño patrón para $a/c=0.65$

Se siguió los mismos pasos que lo explicado anteriormente, a continuación, se presentara el resumen del método para el concreto $a/c=0.65$.

Tabla 22

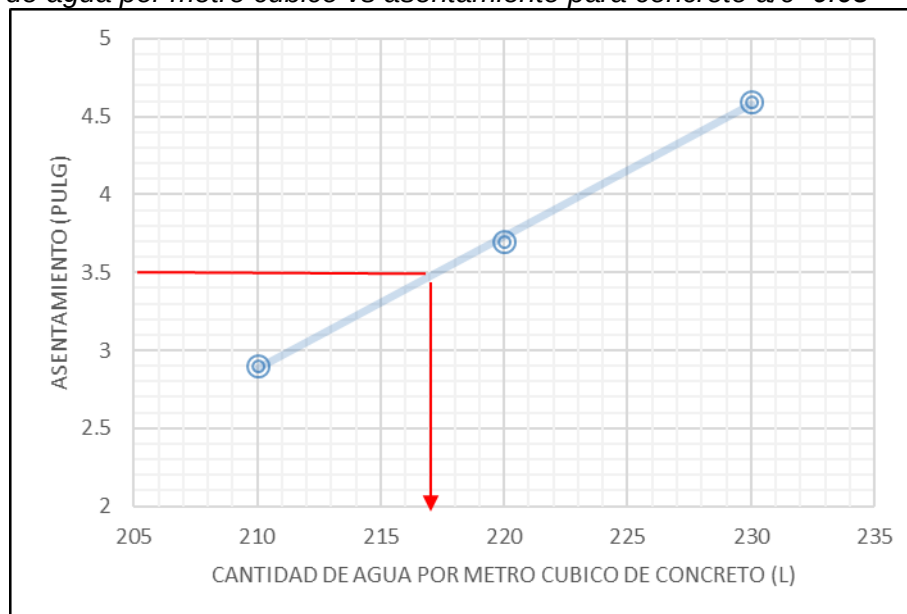
Diseño de concreto con $a/c=0.65$ para diferentes cantidades de agua.

Cantidad de agua (L) por m ³ de concreto		210		220		230	
MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg
A/C= 0.65	CEMENTO	323.08	6.90	338.46	7.28	353.85	7.66
%AF= 53	AGUA	211.26	4.51	221.23	4.76	231.20	5.00
	AGREGADOS	--	--	--	--	--	--
	AGREGADO FINO	960.35	20.51	938.84	20.18	917.32	19.85
AIRE= 2%	AGREGADO GRUESO	846.05	18.07	827.09	17.78	808.14	17.49
	Slump (pulg)	2.90		3.70		4.60	

Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Cantidad de agua por metro cúbico vs asentamiento para concreto $a/c=0.65$



Fuente: elaboración propia

Se encontró el asentamiento requerido para una cantidad de agua de diseño de 217 litros por metro cúbico de concreto, ahora veremos un resumen de la corrección de porcentaje del agregado fino como se indica en la tabla 23.

Tabla 23

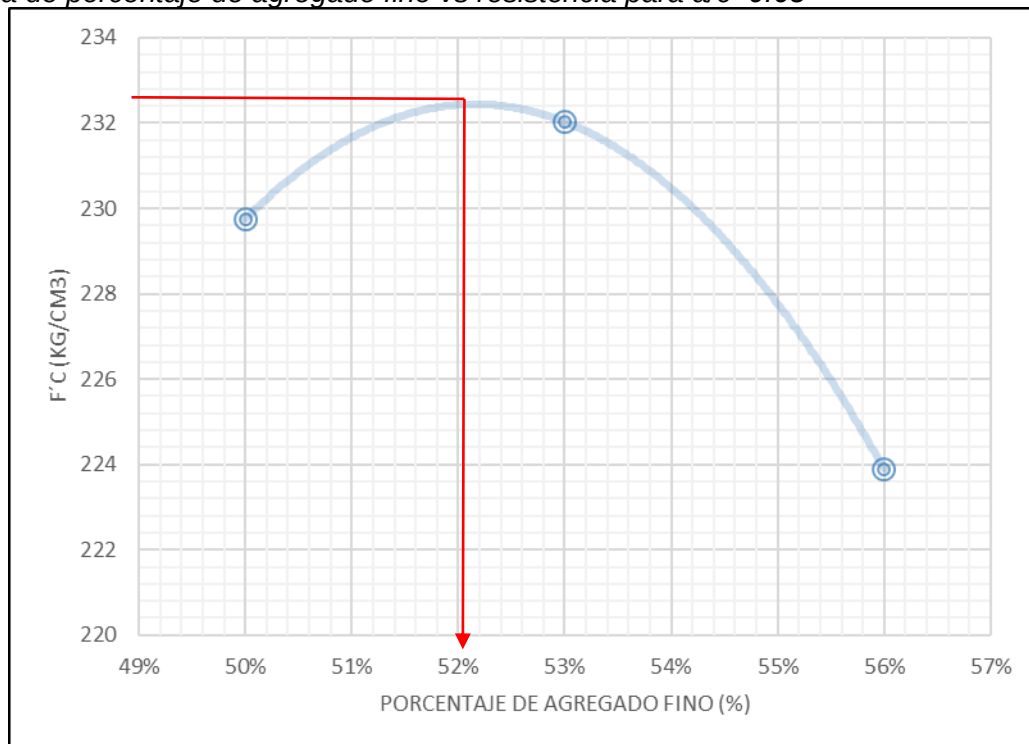
Diseño con 217L de agua por metro cúbico de concreto de $a/c=0.65$ con variaciones porcentuales en volumen de agregado fino ($\pm 3\%$)

%AF=		53		50		56	
MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg
A/C= 0.65	CEMENTO	333.85	7.16	333.85	7.16	361.67	7.75
AGUA= 217L	AGUA	218.24	4.68	218.60	4.69	217.87	4.67
	AGREGADOS	--	--	--	--	--	--
	AGREGADO FINO	945.29	20.28	891.78	19.14	985.22	21.11
AIRE= 2%	AGREGADO GRUESO	832.78	17.87	885.93	19.01	769.03	16.48
$f'c(Kg/cm^2)=$		229.75		232.03		223.90	

Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.65$



Fuente: Elaboración propia

Se concluyó que la proporción óptima de agregado fino para $a/c=0.65$ es de 52%, en consecuencia, el porcentaje óptimo del agregado grueso será de 48%, por tanto, la dosificación de materiales para el concreto patrón correspondiente a la relación $a/c=0.65$, como se muestra en la tabla 24.

Tabla 24

Diseño del concreto patrón 2 con $a/c=0.65$

MEZCLA PATRON		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO HUMEDO (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO (Kg)	X BOLSA DE CEMENTO 42.5KG (Kg)
A/C=	0.65	CEMENTO	0.11	333.85	1.00	42.50
%AF=	52	AGUA	0.22	218.36	0.65	27.80
		AGREGADOS	0.66	--	--	0.00
A(L)=	217	AGREGADO FINO	0.34	927.45	2.78	118.07
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	0.31	850.50	2.55	108.27
SLUMP=	3.5	SUMA	0.98	2330.16		

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Diseño patrón para $a/c=0.70$

Tabla 25

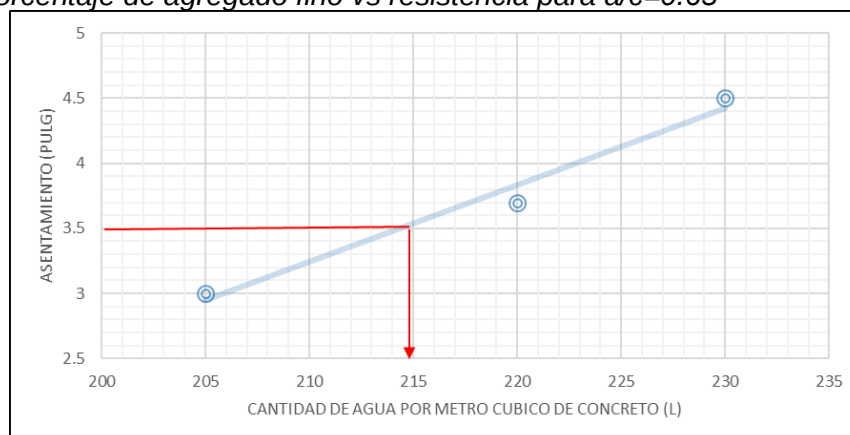
Diseño de concreto con $a/c=0.70$ para diferentes cantidades de agua.

Cantidad de agua (L) por m3 de concreto			205		220		230	
MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg
A/C=	0.70	CEMENTO	292.86	6.24	314.29	6.77	328.57	7.12
%AF=	53	AGUA	205.00	4.40	221.24	4.76	231.22	5.01
		AGREGADOS	--	--	--	--	--	--
		AGREGADO FINO	981.51	20.92	950.00	20.45	928.99	20.13
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	864.69	18.43	836.93	18.02	818.42	17.74
		slump(pulg)	3.00		3.70		4.50	

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.65$



Fuente: Elaboración propia

Se encontró el asentamiento requerido para una cantidad de agua de diseño de 215 litros por metro cúbico de concreto, ahora veremos un resumen de la corrección de porcentaje del agregado fino como se indica en la tabla 26.

Tabla 26

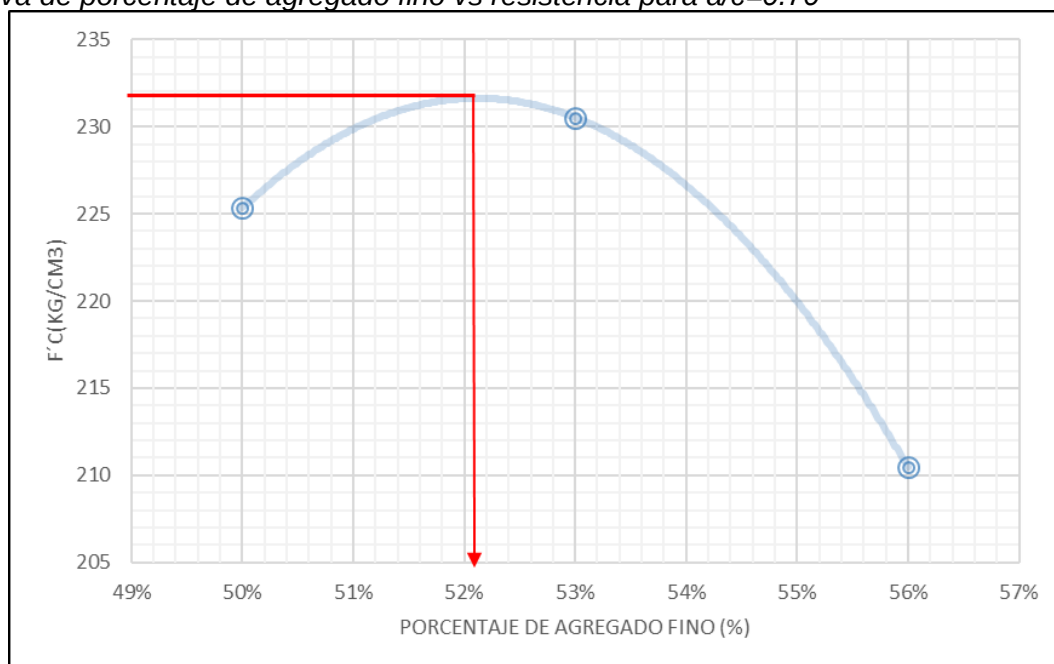
Diseño con 215L de agua por metro cúbico de concreto de $a/c=0.70$ con variaciones porcentuales en volumen de agregado fino ($\pm 3\%$)

%AF=		53		50		56	
MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg	PESO HUM. (Kg)	PARA 50 Kg
A/C= 0.70	CEMENTO	307.14	6.59	307.14	6.59	307.14	6.59
AGUA= 215L	AGUA	216.26	4.64	216.62	4.65	215.89	4.63
AGREGADOS		--	--	--	--	--	--
AGREGADO FINO		960.51	20.61	906.14	19.44	1014.87	21.78
AIRE= 2%	AGREGADO GRUESO	846.18	18.16	900.19	19.32	792.17	17.00
$f'c(Kg/cm^2)=$		225.32		230.53		210.45	

Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Curva de porcentaje de agregado fino vs resistencia para $a/c=0.70$



Fuente: Elaboración propia

Se concluyó que la proporción óptima de agregado fino para $a/c=0.70$ es de 52%, en consecuencia, el porcentaje óptimo del agregado grueso será de 48%, por tanto, la dosificación de materiales para el concreto patrón correspondiente a la relación $a/c=0.70$, se muestra en la tabla 27.

Tabla 27*Diseño del concreto patrón 3 con a/c=0.70*

MEZCLA PATRON		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO HUMEDO (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO (Kg)	X BOLSA DE CEMENTO 42.5KG (Kg)
A/C=	0.70	CEMENTO	0.10	307.14	1.00	42.50
%AF=	52	AGUA	0.22	216.38	0.70	29.94
		AGREGADOS	0.67	--	--	--
A(L)=	215	AGREGADO FINO	0.35	942.38	3.07	130.40
AIRE=	2%	AGREGADO GRUESO	0.32	864.19	2.81	119.58
SLUMP=	3.5	SUMA	0.98	2330.09		

Fuente: Elaboración propia

4.4 Diseño de mezcla usando aditivo acelerante

En esta sección realizaremos el diseño de los 03 concreto patrón, usando para cada uno de ellos 3 proporciones de aditivo, dichas proporciones serán: máxima, media y mínima dosificaciones recomendada en la ficha técnica del aditivo por 100 kg de cemento como se indica en la Tabla 10; para ello se realizará una corrección de la densidad del aditivo líquido, debido a que las dosificaciones que el fabricante recomienda son en volumen, y es más práctico realizar la medición de la cantidad de aditivo en peso tal como indica en la tabla 28.

Tabla 28*Replanteo de densidad del aditivo líquido.*

Muestra	Peso (g)	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)
M-1	53.15	50.0	1.063
M-2	52.99	50.0	1.060
M-3	53.04	50.0	1.061
M-4	53.20	50.0	1.064
		Promedio	1.062
		Densidad de ficha técnica	1.130 ± 0.02

Fuente: Elaboración propia

Como se podrá notar, la densidad medida en laboratorio no coincide con la densidad que indica en la ficha técnica, esto no cumple con lo recomendado en la norma NTP 334.088 (INACAL, 2021f), sin embargo, en la ficha técnica se indica que se debe hacer dicho replanteo, así que se continuará la investigación con la densidad hallada en el laboratorio.

Tabla 29*Dosificación del aditivo acelerante recomendada en su ficha técnica*

Dosificación recomendada	Litros por 100kg de cemento	Mililitro por gramo de cemento	Gramo de aditivo por gramo de cemento	Gramo de aditivo por kilogramo de cemento
Mínima	2	0.02	0.02124	21.24
Intermedia	3	0.03	0.03186	31.86
Máxima	4	0.04	0.04248	42.48

Fuente: Elaboración propia

Las dosificaciones y código de los diseños se detallan en la tabla 30:

Tabla 30*Código de diseños y dosificación de aditivo en los diseños patrón*

Diseño	Código	Dosificación de aditivo (gramo de aditivo por kilogramo de cemento)
Concreto patrón a/c=0.60	CP1	--
Concreto patrón a/c=0.65	CP2	--
Concreto patrón a/c=0.70	CP3	--
CP1 con 2L por 100 kg de cemento	CP1-AD1	21.24
CP1 con 3L por 100 kg de cemento	CP1-AD2	31.86
CP1 con 4L por 100 kg de cemento	CP1-AD3	42.48
CP2 con 2L por 100 kg de cemento	CP2-AD1	21.24
CP2 con 3L por 100 kg de cemento	CP2-AD2	31.86
CP2 con 4L por 100 kg de cemento	CP2-AD3	42.48
CP3 con 2L por 100 kg de cemento	CP3-AD1	21.24
CP3 con 3L por 100 kg de cemento	CP3-AD2	31.86
CP3 con 4L por 100 kg de cemento	CP3-AD3	42.48

Fuente: Elaboración propia

CONSIDERACIONES DE DISEÑO:

- ✓ Según recomendación normativa y en la ficha técnica del aditivo, antes de pesar la cantidad de aditivo a usarse en el vaciado, se agitará el aditivo para evitar variaciones de densidad en el contenedor por sedimentación.
- ✓ Se determinó que la cantidad de aditivo es un volumen a considerar, por tanto, se optó por seguir la recomendación de INACAL (2013a) en la cual se indica que el volumen de concreto en la mezcla se deducirá del agua de mezclado.
- ✓ Mantener constante el volumen de líquidos en el diseño (agua + aditivo) tiene como consecuencia que el volumen de materiales en la mezcla no varíe, por tanto, la dosificación de las mezclas con aditivo será la misma, las únicas variaciones serán la cantidad de aditivo y la cantidad de agua corregida por el uso del aditivo.

4.4.1 Diseño de concreto CP1-AD1

Tabla 31

Dosificación de CP1-AD1

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C= 0.6	CEMENTO	0.12	365.00	365.00	1.00	1.00
RF= 54	AGUA	0.21	211.70	212.34	0.58	24.72
A(L)= 219	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE= 2%	AGREGADO FINO	0.35	932.02	945.53	2.59	110.10
ADIT= 2L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.30	796.90	800.17	2.19	93.17
	ADITIVO	0.0073	7.75	7.75	0.02	0.90
SLUMP= 3.2	SUMA	0.98	2313.37	2330.79		

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Diseño de concreto CP1-AD2

Tabla 32

Dosificación de CP1-AD2

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C= 0.6	CEMENTO	0.12	365.00	365.00	1.00	42.50
RF= 54	AGUA	0.21	208.05	208.47	0.57	24.27
A(L)= 219	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE= 2%	AGREGADO FINO	0.35	932.02	945.53	2.59	110.10
ADIT= 3L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.30	796.90	800.17	2.19	93.17
	ADITIVO	0.0110	11.63	11.63	0.03	1.35
SLUMP= 3.4	SUMA	0.98	2313.60	2330.79		

Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Diseño de concreto CP1-AD3

Tabla 33

Dosificación de CP1-AD3

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C=	0.6	CEMENTO	0.12	365.00	365.00	1.00	42.50
RF=	54	AGUA	0.20	204.40	204.59	0.56	23.82
A(L)=	219	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.35	932.02	945.53	2.59	110.10
ADIT=	4L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.30	796.90	800.17	2.19	93.17
		ADITIVO	0.0146	15.51	15.51	0.04	1.81
SLUMP=	3.4	SUMA	0.98	2313.82	2330.79		

Fuente: Elaboración propia

4.4.4 Diseño de concreto CP2-AD1

Tabla 34

Dosificación de CP2-AD1

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C=	0.65	CEMENTO	0.11	333.85	333.85	1.00	42.50
RF=	52	AGUA	0.21	210.32	211.27	0.63	26.90
A(L)=	217	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.34	914.20	927.45	2.78	118.07
ADIT=	2L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.31	847.02	850.50	2.55	108.27
		ADITIVO	0.0067	7.09	7.09	0.02	0.90
SLUMP=	3.5	SUMA	0.98	2312.48	2330.16		

Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Diseño de concreto CP2-AD2

Tabla 35

Dosificación de CP2-AD2

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C=	0.65	CEMENTO	0.11	333.85	333.85	1.00	42.50
RF=	52	AGUA	0.21	206.98	207.72	0.62	26.44
A(L)=	217	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.34	914.20	927.45	2.78	118.07
ADIT=	3L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.31	847.02	850.50	2.55	108.27
		ADITIVO	0.0100	10.64	10.64	0.03	1.35
SLUMP=	3.3	SUMA	0.98	2312.69	2330.16		

Fuente: Elaboración propia

4.4.6 Diseño de concreto CP2-AD3

Tabla 36

Dosificación de CP2-AD3

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C=	0.65	CEMENTO	0.11	333.85	333.85	1.00	42.50
RF=	52	AGUA	0.20	203.65	204.17	0.61	25.99
A(L)=	217	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.34	914.20	927.45	2.78	118.07
ADIT=	4L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.31	847.02	850.50	2.55	108.27
		ADITIVO	0.0134	14.18	14.18	0.04	1.81
SLUMP=	3.6	SUMA	0.98	2312.90	2330.16		

Fuente: Elaboración propia

4.4.7 Diseño de concreto CP3-AD1

Tabla 37

Dosificación de CP3-AD1

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C= 0.70	CEMENTO	0.10	307.14	307.14	1.00	42.50
RF= 52	AGUA	0.21	208.86	209.85	0.68	29.04
A(L)= 215	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE= 2%	AGREGADO FINO	0.35	928.91	942.38	3.07	130.40
ADIT= 2L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.32	860.66	864.19	2.81	119.58
	ADITIVO	0.0061	6.52	6.52	0.02	0.90
SLUMP= 3.2	SUMA	0.98	2312.10	2330.09		

Fuente: Elaboración propia

4.4.8 Diseño de concreto CP3-AD2

Tabla 38

Dosificación de CP3-AD2

MEZCLA DE PRUEBA	MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C= 0.70	CEMENTO	0.10	307.14	307.14	1.00	42.50
RF= 52	AGUA	0.21	205.79	206.59	0.67	28.59
A(L)= 215	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE= 2%	AGREGADO FINO	0.35	928.91	942.38	3.07	130.40
ADIT= 3L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.32	860.66	864.19	2.81	119.58
	ADITIVO	0.0092	9.79	9.79	0.03	1.35
SLUMP= 3.3	SUMA	0.98	2312.29	2330.09		

Fuente: Elaboración propia

4.4.9 Diseño de concreto CP3-AD3

Tabla 39

Dosificación de CP3-AD3

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (m ³)	PESO SECO (Kg)	PESO EN OBRA. (Kg)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (Kg)
A/C=	0.70	CEMENTO	0.10	307.14	307.14	1.00	42.50
RF=	52	AGUA	0.20	202.71	203.33	0.66	28.14
A(L)=	215	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.35	928.91	942.38	3.07	130.40
ADIT=	4L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.32	860.66	864.19	2.81	119.58
		ADITIVO	0.0123	13.05	13.05	0.04	1.81
SLUMP=	3.3	SUMA	0.98	2312.48	2330.09		

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V. Ensayos

En este capítulo se describirán y detallarán los ensayos que se realizaron para el concreto en estado fresco y endurecido bajo sus respectivas referencias normativas, según sea conveniente para cumplir los objetivos de la presente investigación.

5.1 Propiedades del concreto en estado fresco

5.1.1 Trabajabilidad (NTP 339.035)

El procedimiento que se siguió en el laboratorio consiste en la colocación de la mezcla de concreto en tres capas en un molde con forma de cono trunco invertido y se compacta con una varilla lisa de 5/8 de pulgada aplicando 25 golpes distribuidos uniformemente procurando que la barra penetre ligeramente la capa anterior, luego de la colocación de la capa final se enrasa y se retira el cono a velocidad constante ($5\text{ s} \pm 2\text{ s}$) y se registra el desplazamiento de la mezcla respecto de su posición inicial, se reporta este desplazamiento como asentamiento, si se presenta una separación por corte de la muestra, se repetirá el procedimiento puesto que puede ser indicio de que el concreto carece de cohesión. Para la presente investigación se consideró un asentamiento de 3 a 4 pulgadas.

5.1.2 Peso unitario (NTP.339.046)

El procedimiento que se siguió fue llenar un recipiente de 1 pie^3 en 3 partes de concreto fresco, en el intervalo entre capas se compacta con una varilla de 5/8 de pulgada 25 veces distribuidos uniformemente por toda la superficie, tratando de que la varilla penetre ligeramente a la capa anterior, luego de compactar, se dan golpes con el martillo de goma, finalmente se enrasa y se registra el peso (INACAL 2019a).

5.1.3 Contenido de aire (NTP 339.081)

El procedimiento para la determinación que se siguió se fue el uso del equipo denominado “olla de Washington”, el procedimiento que se sigue es el llenado de la olla con concreto en tres capas, varillado con una varilla de 5/8 de pulgada (25 golpes por capa) y compactado con un martillo de goma en cada capa, se enrasa la muestra con una plancha metálica para la colocación de la tapa, se inyecta agua en las válvulas laterales de la tapa hasta que no salgan burbujas de aire, posteriormente se cierran todas las válvulas y se empieza a bombear aire manualmente, cuando la aguja del manómetro llega al valor de la calibración del equipo se acciona la palanca de aire y se registra el porcentaje de aire atrapado en la mezcla.

5.1.4 Tiempo de fraguado (NTP 339.082)

El procedimiento establecido en la norma para cuantificar el tiempo de fraguado inicial y final consiste en registrar la hora en la que el cemento toca el agua, tamizar una muestra de concreto fresco por la malla N°4, y vaciar este mortero en un recipiente de medidas estandarizadas, se compacta con una varilla de 5/8 de pulgada y golpes con martillo de goma, se enrasa y se mide la resistencia a la penetración de la muestra a intervalos de tiempo determinadas (INACAL, 2017b).

5.1.5 Exudación (NTP 339.077)

El procedimiento para cuantificar la exudación está regulado por la norma NTP 339.077 en la cual consiste en vaciar una masa de concreto fresco en 3 capas, compactando entre ellas, en un balde rígido cuyas medidas se establecen en la norma, se deja el balde enrasado y tapado para que no pierda humedad, el agua de la exudación se retira en una probeta y se registra la cantidad de agua exudada hasta que este deje de exudar (INACAL, 2020e).

La expresión de la exudación se calculará como el porcentaje de agua exudada respecto del agua en la muestra en estado fresco, tal como se indica en la fórmula 1.

Fórmula 1: Determinación de la exudación

$$\text{Exudación, \%} = (D/C) \times 100$$

Donde:

C: masa de agua en la muestra de ensayo, en g

D: masa de agua de exudación, en g.

5.1.6 Temperatura del concreto (NTP 339.184)

El ensayo asociado al control de temperatura es el “método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto” y consiste en el uso de un termómetro calibrado con una precisión de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ en una mezcla de concreto contenido en un recipiente no absorbente, el tiempo para registrar la medición puede ser hasta de 5 minutos (INACAL, 2021g).

5.2 Propiedades del concreto en estado endurecido

5.2.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034)

Consiste en la aplicación de fuerza axial a un espécimen de concreto endurecido, hasta que éste falle, se registra la fuerza de la falla y se divide entre el área transversal del

espécimen de concreto. El área transversal de los especímenes cilíndricos se calculará con el promedio de los diámetros de la zona central de la probeta, se tomarán 2 medidas, la segunda medida será la resultante de girar 90° el espécimen sobre su eje. En la presente investigación se usó probetas cilíndricas de 100mm por 200mm (INACAL, 2021d).

Para el caso de la precisión dentro del ensayo, se tiene:

Tabla 40

Precisión de resultados de ensayo a compresión

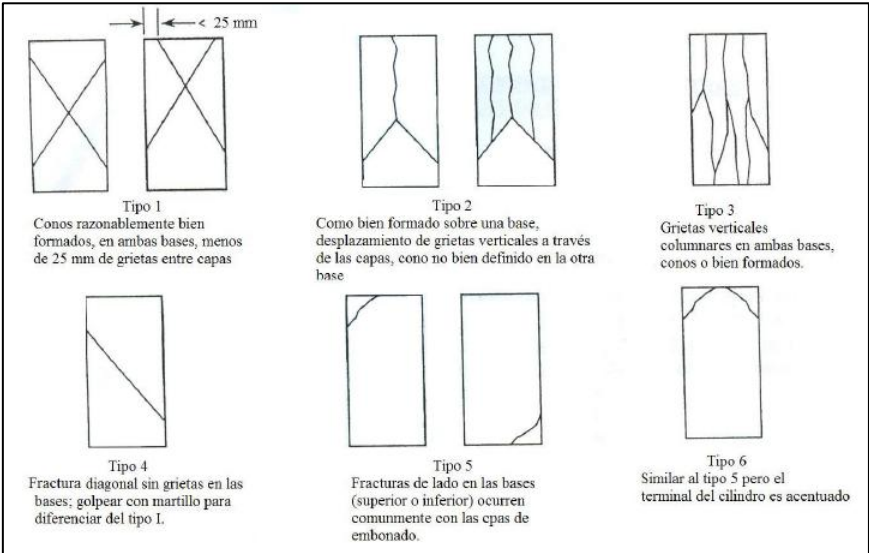
		Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
			2 cilindros	3 cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm	Condiciones de laboratorio	2.4%	6.6%	7.8%
	Condiciones de obra	2.9%	8.0%	9.5%
Cilindros de 100 mm x 200 mm	Condiciones de laboratorio	3.2%	9.0%	10.6%

Fuente: Elaboración propia

Se registra el tipo de falla indicado en la norma:

Figura 15

Esquema de patrones de fracturas de probetas cilíndricas



Fuente: (INACAL, 2021d)

5.2.2 Resistencia a la tracción (NTP 339.084)

El ensayo consiste en la aplicación de fuerza de compresión en una muestra de concreto cilíndrica en sentido diametral en toda su longitud, el esfuerzo que predomina ante la rotura es el esfuerzo de tracción (INACAL, 2017a), el cálculo de la tracción es como sigue:

Fórmula 2: Determinación del esfuerzo de tracción.

$$T = \frac{2P}{\pi LD}$$

Fuente: (INACAL, 2017a)

Donde:

T : Resistencia a la tracción indirecta (Kgf/cm²).

P : carga máxima aplicada por la prensa (Kgf).

L : Longitud promedio (cm).

D : Diámetro promedio (cm).

En la norma NTP 339.084 detalla que las medidas del diámetro y la longitud son producto del promedio aritmético de medidas tomadas en la zona del plano de falla del ensayo, 3 medidas del diámetro (a los extremos y al centro) y 2 medidas de la longitud (medidos diametralmente opuesta la una de la otra) (INACAL 2017a).

Capítulo VI. Resultados

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos de los ensayos descritos en el capítulo anterior.

6.1 Propiedades del concreto en estado fresco

6.1.1 Trabajabilidad

Tabla 41

Trabajabilidad del concreto de los 12 diseños

a/c	Código	Asentamiento (pulg)
a/c=0.60	CP1	3.5
	CP1-AD1	3.2
	CP1-AD2	3.4
	CP1-AD3	3.4
a/c=0.65	CP2	3.5
	CP2-AD1	3.5
	CP2-AD2	3.3
	CP2-AD3	3.6
a/c=0.70	CP3	3.5
	CP3-AD1	3.2
	CP3-AD2	3.3
	CP3-AD3	3.3

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Peso unitario

Tabla 42

Peso unitario del concreto de los 12 diseños.

a/c	Código	Peso del material (Kg)	Vol. (m³)	P.U. (Kg/m³)
a/c=0.60	CP1	22.56	0.00944	2389.83
	CP1-AD1	22.57	0.00944	2390.89
	CP1-AD2	22.58	0.00944	2391.95
	CP1-AD3	22.57	0.00944	2390.89
a/c=0.65	CP2	22.53	0.00944	2386.65
	CP2-AD1	22.54	0.00944	2387.71
	CP2-AD2	22.54	0.00944	2387.71
	CP2-AD3	22.55	0.00944	2388.77
a/c=0.70	CP3	22.51	0.00944	2384.53
	CP3-AD1	22.52	0.00944	2385.59
	CP3-AD2	22.53	0.00944	2386.65
	CP3-AD3	22.53	0.00944	2386.65

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Contenido de aire

Tabla 43

Contenido de aire de los 12 diseños.

a/c	Código	CONTENIDO DE AIRE (%)
a/c=0.60	CP1	1.15
	CP1-AD1	1.05
	CP1-AD2	1.10
	CP1-AD3	1.10
a/c=0.65	CP2	1.20
	CP2-AD1	1.15
	CP2-AD2	1.10
	CP2-AD3	1.01
a/c=0.70	CP3	1.30
	CP3-AD1	1.15
	CP3-AD2	1.00
	CP3-AD3	1.00

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Tiempo de fraguado

Se presenta la Tabla 44 con el procedimiento que se siguió para obtener el tiempo de fraguado inicial y final del concreto patrón 1 (a/c=0.60).

Tabla 44

Tiempo de fraguado de CP1

HORA DE INICIO: 08:16							
Nº	T. AMB (°C)	T. MUESTRA (°C)	HORA DE ENSAYO	AREA AGUJA (pulg ²)	FUERZA (lb)	TIEMPO (min)	PRESION (PSI)
1	21.7	21.6	12:22	1	100	246	100
2	21.7	22	13:00	0.5	140	284	250
3	21.8	22	13:12	0.25	58	296	280
4	21.8	22.1	13:30	0.25	98	314	392
5	22	22.4	14:00	0.1	75	344	750
6	22.1	22.4	14:30	0.05	62	374	1240
7	22.1	22.6	15:00	0.025	46	404	1840
8	22.3	22.7	15:30	0.025	80	434	3200
9	22.4	23	16:14	0.025	136	478	5440
TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (min)				325			
TIEMPO DE FRAGUA FINAL (min)				450			

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el tiempo de fragua inicial y final, graficamos los datos obtenidos de presión vs el tiempo, el tiempo que interseca entre la gráfica y los 500 PSI será el tiempo de fraguado inicial, y la intersección con los 4000 PSI será el tiempo de fragua final.

Se siguió el procedimiento para todos los diseños, los resultados se detallan en la Tabla 45.

Tabla 45

Tiempo de fraguado de los 12 diseños

DISEÑO		TIEMPO DE FRAGUA INICIAL (min)	TIEMPO DE FRAGUA FINAL (min)
CP1 a/c=0.60	CP1	325	450
	CP1-AD1	282	360
	CP1-AD2	262	305
	CP1-AD3	225	340
CP2 a/c=0.65	CP2	335	482
	CP2-AD1	290	405
	CP2-AD2	250	376
	CP2-AD3	235	340
CP3 a/c=0.70	CP3	340	490
	CP3-AD1	300	430
	CP3-AD2	264	380
	CP3-AD3	230	360

Fuente: Elaboración propia

6.1.5 Exudación

Tabla 46

Exudación de los 12 diseños.

DISEÑO		MASA DE AGUA DE EXUDACION (g)	MASA DE LA MUESTRA (Kg)	MASA DE LIQUIDOS EN LA MUESTRA (kg)	EXUDACION (%)
CP1 a/c=0.60	CP1	32.03	30.10	2.84	1.13
	CP1-AD1	15.37	28.27	2.68	0.57
	CP1-AD2	14.94	30.70	2.91	0.51
	CP1-AD3	7.20	30.34	2.88	0.250
CP2 a/c=0.65	CP2	32.50	28.71	2.69	1.21
	CP2-AD1	20.20	29.60	2.78	0.73
	CP2-AD2	15.20	29.14	2.74	0.56
	CP2-AD3	13.50	29.73	2.79	0.48
CP3 a/c=0.70	CP3	34.10	29.18	2.71	1.26
	CP3-AD1	24.50	28.84	2.68	0.91
	CP3-AD2	10.50	29.02	2.70	0.39
	CP3-AD3	10.50	29.09	2.71	0.39

Fuente: Elaboración propia

6.1.6 Temperatura del concreto

Tabla 47

Temperatura de vaciado de los 12 diseños

a/c	Código	T. AMBIENTE (°C)	T. CONCRETO (°C)
a/c=0.60	CP1	19.7	20.8
	CP1-AD1	19	20.6
	CP1-AD2	20.3	21.4
	CP1-AD3	19.7	21.4
a/c=0.65	CP2	19.1	20.8
	CP2-AD1	20.3	21.7
	CP2-AD2	20.2	21.7
	CP2-AD3	20.7	22
a/c=0.70	CP3	19.5	20.7
	CP3-AD1	19.9	21.3
	CP3-AD2	21.2	22.3
	CP3-AD3	21.2	22.3

Fuente: Elaboración propia

6.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

6.2.1. Resistencia a la compresión

Tabla 48

Resistencia a la compresión para CP1

ID	FECHA DE OBTENCION	FECHA DE ENSAYO	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA PROMEDIO (cm)	CARGA MAXIMA (KGF)	F'C (Kgf / cm²)	TIPO DE FALLA	RANGO DE RESISTENCIA (%)	COEFICIENTE DE VARIACION	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
CP1-1D	03/10	04/10	10.12	20.40	7033.0	90.45	5	0.00	4.5	85.6	3.8
CP1-1D	03/10	04/10	10.07	20.47	6514.0	81.06	5	10.38			
CP1-1D	03/10	04/10	10.03	20.50	6786.0	85.20	4	5.80			
CP1-3D	03/10	06/10	10.00	20.55	16632.9	210.72	4	5.55	2.5	215.7	5.3
CP1-3D	03/10	06/10	10.00	20.48	17523.0	223.11	4	0.00			
CP1-3D	03/10	06/10	10.00	20.53	16761.2	213.41	5	4.35			
CP1-7D	03/10	10/10	10.02	20.53	22432.0	285.90	2	0.00	1.4	281.1	3.8
CP1-7D	03/10	10/10	10.02	20.53	22156.0	280.97	5	1.72			

ID	FECHA DE OBTENCION	FECHA DE ENSAYO	DIAMETRO PROMEDIO (cm)	ALTURA PROMEDIO (cm)	CARGA MAXIMA (KGF)	F'C (Kgf / cm ²)	TIPO DE FALLA	RANGO DE RESISTENCIA (%)	COEFICIENTE DE VARIACION	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR
CP1-7D	03/10	10/10	10.03	20.47	21805.0	276.52	5	3.28			
CP1-14D	03/10	17/10	10.00	20.64	24857.0	314.60	4	7.01	3.0	326.1	9.7
CP1-14D	03/10	17/10	10.00	20.49	26571.0	338.31	5	0.00			
CP1-14D	03/10	17/10	10.03	20.58	25534.0	325.43	5	3.81			
CP1-28D	03/10	31/10	10.03	20.45	28929.0	366.50	2	3.34	3.1	362.5	11.3
CP1-28D	03/10	31/10	9.99	20.49	27052.0	342.72	2	9.61			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.54	29643.0	378.18	5	0.26			
CP1-28D	03/10	31/10	10.03	20.48	29557.0	376.33	2	0.75			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.55	28583.0	362.12	5	4.49			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.53	26434.0	336.57	4	11.23			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.54	29779.0	379.16	4	0.00			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.52	28640.0	364.65	4	3.82			
CP1-28D	03/10	31/10	10.03	20.50	28956.0	368.68	2	2.76			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.45	28156.0	356.71	4	5.92			
CP1-28D	03/10	31/10	10.00	20.48	28365.0	361.15	3	4.75			
CP1-28D	03/10	31/10	10.01	20.48	28689.0	365.28	5	3.66			
CP1-28D	03/10	31/10	10.03	20.42	28466.0	361.72	4	4.60			
CP1-28D	03/10	31/10	10.02	20.56	27901.0	353.48	4	6.77			
CP1-28D	03/10	31/10	10.02	20.55	28187.0	357.81	5	5.63			
CP1-28D	03/10	31/10	10.12	20.35	29111.0	369.54	5	2.54			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, algunos parámetros no cumplen con lo requerido en la norma como el rango de resistencia.

De la misma manera que lo explicado anteriormente, se procedió a calcular las resistencias promedio de todos los diseños, los cuales se presentan en la tabla 49.

Tabla 49

Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños.

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c PROMEDIO (Kg/cm ²)	Rango de resistencia máximo (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CP1 a/c=0.60	1	85.6	10.38	3.8	4.5
	3	215.7	5.55	5.3	2.5
	7	281.1	3.28	3.8	1.4
	14	326.1	7.01	9.7	3.0
	28	362.5	11.23	11.3	3.1
CP1-AD1 a/c=0.60 aditivo: 2l/100kg de cemento	1	85.3	7.17	2.7	3.1
	3	237.0	6.67	6.7	2.8
	7	308.4	4.45	5.8	1.9
	14	342.0	5.43	8.7	2.5
	28	362.8	8.00	10.4	2.9
CP1-AD2 a/c=0.60 aditivo: 3l/100kg de cemento	1	80.4	8.61	3.4	4.3
	3	229.7	2.36	2.3	1.0
	7	305.0	4.66	6.3	2.1
	14	338.2	4.74	7.1	2.1
	28	354.9	10.51	10.3	2.9
CP1-AD3 a/c=0.60 aditivo: 4l/100kg de cemento	1	102.3	4.59	2.1	2.1
	3	237.8	5.10	5.2	2.2
	7	294.5	4.67	6.1	2.1
	14	337.9	4.88	7.1	2.1
	28	364.7	11.04	11.1	3.1
CP2 a/c=0.65	1	67.7	9.29	2.7	4.0
	3	188.4	3.95	3.3	1.8
	7	242.2	7.79	8.1	3.3
	14	286.9	6.15	8.2	2.9
	28	320.2	9.05	9.2	2.9
CP2-AD1 a/c=0.65 aditivo: 2l/100kg de cemento	1	73.5	4.03	1.2	1.7
	3	192.8	7.38	6.1	3.1
	7	240.3	6.61	6.9	2.9
	14	293.4	3.09	3.8	1.3
	28	322.9	8.85	8.1	2.5
CP2-AD2 a/c=0.65 aditivo: 3l/100kg de cemento	1	99.1	5.12	1.5	1.5
	3	217.4	4.94	4.7	2.2
	7	273.8	3.37	3.2	1.2
	14	306.5	6.94	9.1	3.0
	28	345.5	7.82	7.6	2.2
CP2-AD3 a/c=0.65 aditivo: 4l/100kg de cemento	1	66.4	5.32	1.5	2.3
	3	225.7	5.73	5.6	2.5
	7	277.8	2.01	2.3	0.8
	14	314.6	7.28	10.7	3.4
	28	337.9	6.67	5.9	1.7

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f' c PROMEDIO (Kg/cm ²)	Rango de resistencia máximo (%)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CP3 a/c=0.70	1	44.4	8.21	1.6	3.5
	3	151.5	3.14	2.1	1.4
	7	230.9	9.48	8.9	3.8
	14	258.3	4.72	5.1	2.0
	28	294.2	9.30	7.3	2.5
CP3-AD1 a/c=0.70 aditivo: 2l/100kg de cemento	1	56.0	3.88	0.9	1.6
	3	164.7	7.77	5.4	3.3
	7	244.3	4.17	4.3	1.7
	14	263.7	2.58	2.9	1.1
	28	294.5	8.25	7.7	2.6
CP3-AD2 a/c=0.70 aditivo: 3l/100kg de cemento	1	56.4	2.51	0.6	1.1
	3	181.8	3.35	2.7	1.5
	7	248.9	8.29	9.1	3.7
	14	262.7	2.87	3.2	1.2
	28	303.0	10.31	8.7	2.9
CP3-AD3 a/c=0.70 aditivo: 4l/100kg de cemento	1	76.6	2.46	0.9	1.1
	3	194.9	2.80	2.3	1.2
	7	250.6	2.47	2.7	1.1
	14	270.8	4.20	5.0	1.9
	28	310.7	8.64	6.8	2.2

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Resistencia a la tracción

Tabla 50

Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños

ID	FECHA DE OBTENCION	ENSAYO	DIAMETRO (cm)				LONGITUD (cm)			CARGA MAXIMA (Kgf)	T (Kgf/cm ²)	T PROM. (Kgf/cm ²)
CP1	03/10	31/10	10.21	10.00	9.85		20.50	20.50	10739.00	33.28	33.13	
CP1	03/10	31/10	9.84	10.02	10.27		20.50	20.50	11210.00	34.66		
CP1	03/10	31/10	9.80	10.00	10.20		20.33	20.35	10047.00	31.45		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51*Promedio de la resistencia a la compresión para los 12 diseños.*

ID		T(Kg/cm ²)
CP1 a/c=0.60	CP1	33.13
	CP1-AD1	33.41
	CP1-AD2	33.52
	CP1-AD3	33.67
CP2 a/c=0.65	CP2	31.00
	CP2-AD1	31.20
	CP2-AD2	30.89
	CP2-AD3	31.22
CP3 a/c=0.70	CP3	29.22
	CP3-AD1	29.40
	CP3-AD2	29.52
	CP3-AD3	29.68

Fuente: Elaboración propia

Capítulo VII. Análisis de resultados

En este apartado se hace una comparación de los resultados obtenidos, definiremos parámetros de comparación por medio de tablas y gráficas.

7.1 Análisis de resultados del concreto en estado fresco

En este apartado se realiza una comparación de los resultados obtenidos para cada concreto patrón, es decir para cada diseño con la misma relación agua-cemento, definiremos parámetros de comparación por medio de tablas y gráficas.

7.1.1. Trabajabilidad

En el presente trabajo de investigación se optó por usar el concepto de líquido total de diseño, en otras palabras, el líquido total en la mezcla se mantuvo constante, en las variaciones de cantidad de aditivo se varió la cantidad de agua en un volumen equivalente para mantener la relación de cantidad de líquidos – cemento de la mezcla, resultando el asentamiento deseado entre 3 a 4 pulgadas, por tanto, la trabajabilidad se mantuvo dentro de los parámetros para todos los diseños.

7.1.2. Peso unitario

En el diseño de mezcla con $a/c=0.60$, se observa que el peso unitario aumenta en la mínima dosificación de aditivo líquido, el incremento se presenta para todos los diseños con aditivo respecto del patrón, como se indica en la Tabla 52.

Tabla 52

Análisis comparativo del Peso Unitario para CP1 ($a/c=0.60$).

a/c	Código	P.U. (Kg/m ³)	Variación respecto del patrón (%)
$a/c=0.60$	CP1	2389.83	100.000
	CP1-AD1	2390.89	100.044
	CP1-AD2	2391.95	100.089
	CP1-AD3	2390.89	100.044

Fuente: Elaboración propia

En el diseño de mezcla con $a/c=0.65$, se observa que el peso unitario aumenta en la mínima dosificación de aditivo líquido, y para un porcentaje de aditivo mayor, el peso unitario del peso unitario para una relación $a/c=0.65$ resulta menor que el diseño para una relación de $a/c=0.60$, como se indica en la Tabla 53.

Tabla 53

Análisis comparativo del Peso Unitario para CP2 (a/c=0.65).

a/c	Código	P.U. (Kg/m ³)	Variación respecto del patrón (%)
a/c=0.65	CP2	2386.65	100.000
	CP2-AD1	2387.71	100.044
	CP2-AD2	2387.71	100.044
	CP2-AD3	2388.77	100.089

Fuente: Elaboración propia

En el diseño de mezcla con a/c=0.70, se observa que el peso unitario aumenta uniformemente conforme aumenta al porcentaje de aditivo lo cual cumple con la tendencia de los diseños para a/c=0.60 y a/c=0.65, como se indica en la Tabla 54.

Tabla 54

Análisis comparativo del Peso Unitario para CP3 (a/c=0.70).

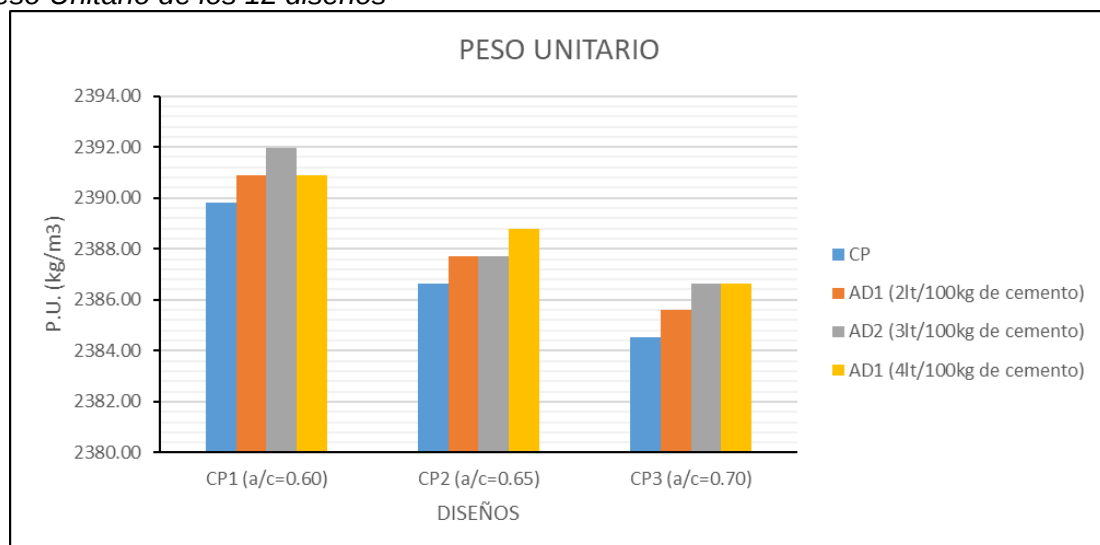
a/c	Código	P.U. (Kg/m ³)	Variación respecto del patrón (%)
a/c=0.70	CP3	2384.53	100.000
	CP3-AD1	2385.59	100.044
	CP3-AD2	2386.65	100.089
	CP3-AD3	2386.65	100.089

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 16 se muestra los resultados de los diseños propuestos en la presente investigación.

Figura 16

Peso Unitario de los 12 diseños



Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Contenido de aire

En el diseño de mezcla con $a/c=0.60$, se observa que el contenido de aire disminuye para el porcentaje menor de aditivo AD1 (2l/100 kg de cemento), para las dosificaciones de aditivo mayores, el porcentaje de aire atrapado aumenta con respecto a la primera dosificación de aditivo, pero es menor al contenido de aire del concreto patrón como se indica en la Tabla 55.

Tabla 55

Análisis comparativo del contenido de aire para CP1 ($a/c=0.60$).

a/c	Código	C. A. (%)	Variación respecto del patrón (%)
$a/c=0.60$	CP1	1.15	100.000
	CP1-AD1	1.05	91.304
	CP1-AD2	1.10	95.652
	CP1-AD3	1.10	95.652

Fuente: Elaboración propia

En el diseño de mezcla con $a/c=0.65$, se observa que el contenido de aire disminuye conforme aumenta el porcentaje de aditivo usado en la mezcla como se indica en la Tabla 56.

Tabla 56

Análisis comparativo del contenido de aire para CP2 ($a/c=0.65$).

a/c	Código	C. A. (%)	Variación respecto del patrón (%)
$a/c=0.65$	CP1	1.20	100.000
	CP1-AD1	1.15	95.833
	CP1-AD2	1.10	91.667
	CP1-AD3	1.01	84.167

Fuente: Elaboración propia

En el diseño de mezcla con $a/c=0.70$, se observa que el contenido de aire tiene un porcentaje de disminución mayor para la primera dosificación de aditivo, la tasa de crecimiento disminuyó para las dosificaciones mayores, sin embargo, se tienen porcentajes de disminución de aire mayores con respecto a los diseños de $a/c=0.60$ y $a/c=0.65$, como se indica en la Tabla 57.

Tabla 57

Análisis comparativo del contenido de aire para CP3 (a/c=0.70).

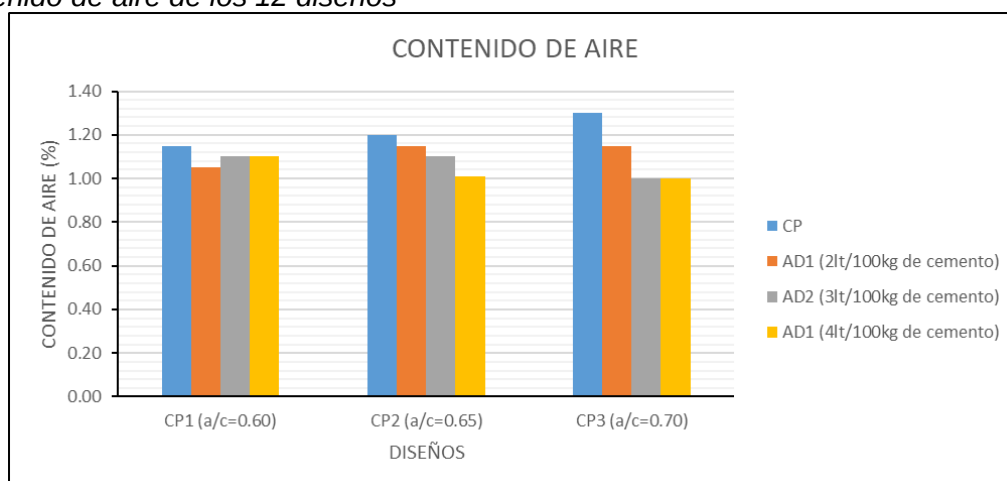
a/c	Código	C. A. (%)	Variación respecto del patrón (%)
a/c=0.70	CP1	1.30	100.000
	CP1-AD1	1.15	88.462
	CP1-AD2	1.00	76.923
	CP1-AD3	1.00	76.923

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17 se muestra los resultados de los diseños propuestos en la presente investigación

Figura 17

Contenido de aire de los 12 diseños



Fuente: Elaboración propia

7.1.4. Tiempo de fraguado

El análisis del tiempo de fraguado se realiza por separado para el tiempo de fraguado inicial como para el tiempo de fraguado final, tomando en cuenta los parámetros establecidos.

7.1.4.1. Fraguado inicial.

Se observa una reducción del tiempo de fraguado inicial mayor para el mayor porcentaje de aditivo. Otro parámetro que se toma en cuenta es que el tiempo de fragua es menor mientras el a/c es menor. Cabe resaltar que los requisitos físicos establecidos por la norma para tiempo de fraguado inicial no se cumplen en ningún diseño con el porcentaje mínimo de aditivo (2lt por cada 100Kg de cemento), tal como se muestra resultado en la Tabla 58.

Tabla 58

Análisis comparativo del tiempo de fragua inicial de los 12 diseños.

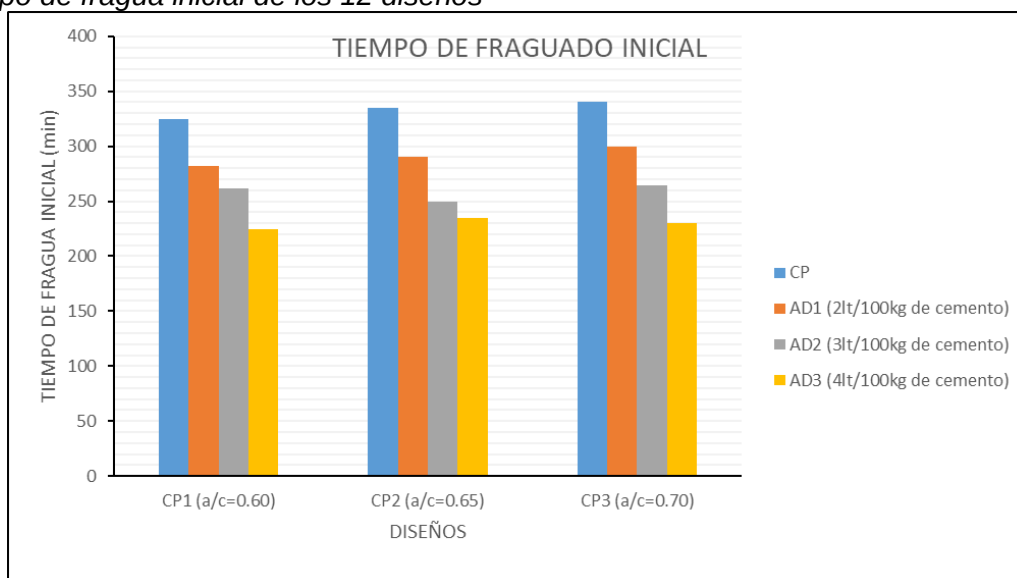
a/c	Código	Tiempo de fragua inicial (min)	Variación respecto del patrón (min)	Variación respecto del patrón (horas)	Variación respecto del patrón (%)
a/c=0.60	CP1	325	0.0	00:00:00	100.000
	CP1-AD1	282	43.0	00:43:00	86.769
	CP1-AD2	262	63.0	01:03:00	80.615
	CP1-AD3	225	100.0	01:40:00	69.231
a/c=0.65	CP2	335	0.0	00:00:00	100.000
	CP2-AD1	290	45.0	00:45:00	86.567
	CP2-AD2	250	85.0	01:25:00	74.627
	CP2-AD3	235	100.0	01:40:00	70.149
a/c=0.70	CP3	340	0.0	00:00:00	100.000
	CP3-AD1	300	40.0	00:40:00	88.235
	CP3-AD2	264	76.0	01:16:00	77.647
	CP3-AD3	230	110.0	01:50:00	67.647

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se muestra los resultados de los diseños propuestos en la presente investigación.

Figura 18

Tiempo de fragua inicial de los 12 diseños



Fuente: Elaboración propia

7.1.4.2. Tiempo de fragua final.

Según la norma NTP 334.088 (INACAL, 2017b) se establece unos requisitos físicos para el concreto con uso de aditivos, el requisito físico del concreto con aditivo acelerador es de una reducción en el tiempo de fraguado final de por lo menos 1:00 hora.

Se observa un descenso porcentual constante en el tiempo de fraguado final para los diseños de $a/c=0.65$ y $a/c=0.70$, teniendo una reducción del tiempo de fragua mayor para el mayor porcentaje de aditivo; no ocurre así con la relación $a/c=0.60$, en la que se observa que el tiempo de fragua final no baja con la mayor dosificación de aditivo. Otro parámetro que se tuvo en cuenta es que el tiempo de fragua final es menor mientras el a/c es menor, similar a lo que pasa con el fraguado inicial, tal como se muestra en la Tabla 59.

Tabla 59

Análisis comparativo del tiempo de fragua final de los 12 diseños.

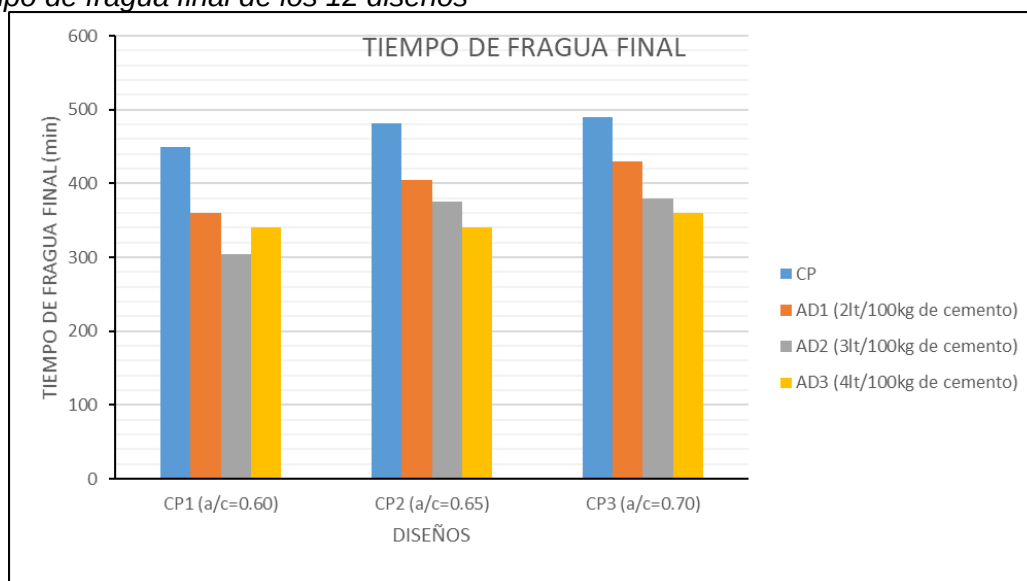
a/c	Código	Tiempo de fragua inicial (min)	Variación respecto del patrón (min)	Variación respecto del patrón (horas)	Variación respecto del patrón (%)
a/c=0.60	CP1	450	0.0	00:00:00	100.000
	CP1-AD1	360	90.0	01:30:00	80.000
	CP1-AD2	305	145.0	02:25:00	67.778
	CP1-AD3	340	110.0	01:50:00	75.556
a/c=0.65	CP2	482	0.0	00:00:00	100.000
	CP2-AD1	405	77.0	01:17:00	84.025
	CP2-AD2	376	106.0	01:46:00	78.008
	CP2-AD3	340	142.0	02:22:00	70.539
a/c=0.70	CP3	490	0.0	00:00:00	100.000
	CP3-AD1	430	60.0	01:00:00	87.755
	CP3-AD2	380	110.0	01:50:00	77.551
	CP3-AD3	360	130.0	02:10:00	73.469

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 19 se muestra los resultados de los diseños propuestos en la presente investigación.

Figura 19

Tiempo de fragua final de los 12 diseños



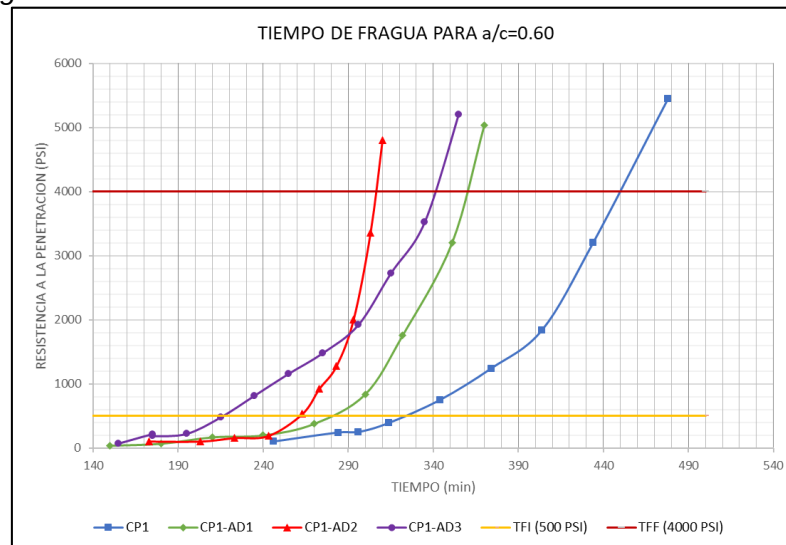
Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la gráfica del tiempo de fragua, se observa lo siguiente:

En el caso de la relación $a/c=0.60$ (CP1), se observa que el tiempo de fragua inicial es menor cuando el porcentaje de aditivo es mayor, sin embargo, en el tiempo de fragua final no ocurre esto, y se muestra que la curva de fraguado para el diseño con mayor dosificación de aditivo es más “echada”, las tendencias de las curvas de proporciones de aditivo anteriores indican una discontinuidad, en la figura 20 se muestra con mayor detalle.

Figura 20

Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.60$

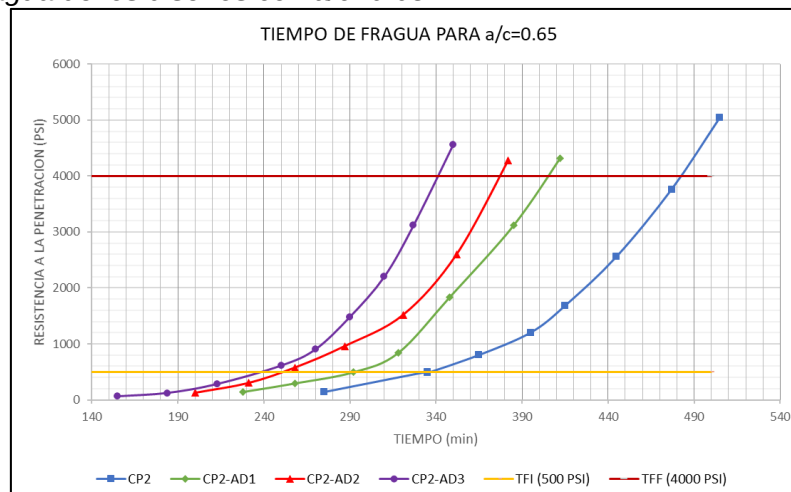


Fuente: Elaboración propia

En la relación $a/c=0.65$ (CP2), se observa que hay una tendencia de disminución de tiempo de fragua, tanto inicial como final con respecto al aumento de dosificación de aditivo acelerante en la mezcla, tal como se muestra en la figura 21.

Figura 21

Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.65$

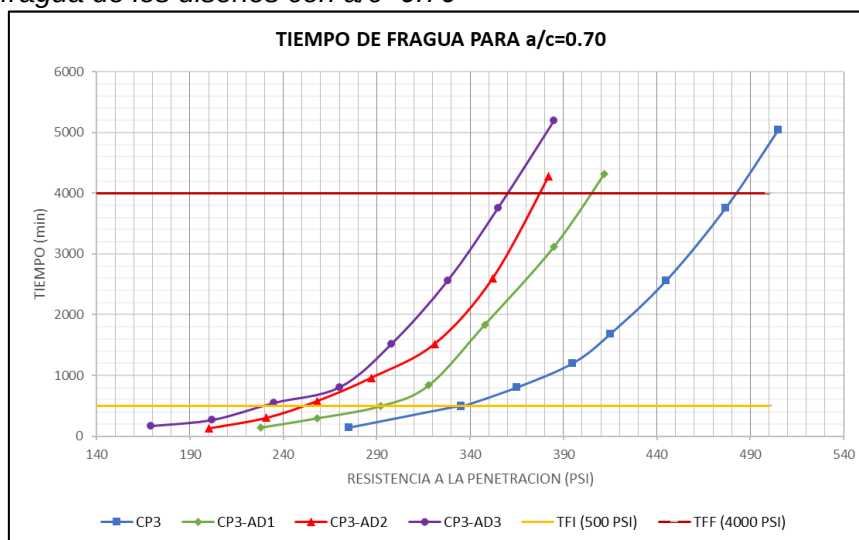


Fuente: Elaboración propia

En la relación $a/c=0.70$ (CP3), se observa que hay una tendencia de disminución de tiempo de fragua, tanto inicial como final con respecto al aumento de dosificación de aditivo acelerante en la mezcla, tal como se muestra en la figura 22.

Figura 22

Tiempo de fragua de los diseños con $a/c=0.70$



Fuente: Elaboración propia

7.1.5. Exudación

Lo porcentajes de exudación de la presente investigación son menores conforme la dosificación de aditivos es menor para todas las relaciones a/c , la mayor variación porcentual se da en la menor relación a/c , cabe destacar que la exudación es mayor cuando la relación a/c es mayor, tal como se indica en la Tabla 60.

Tabla 60

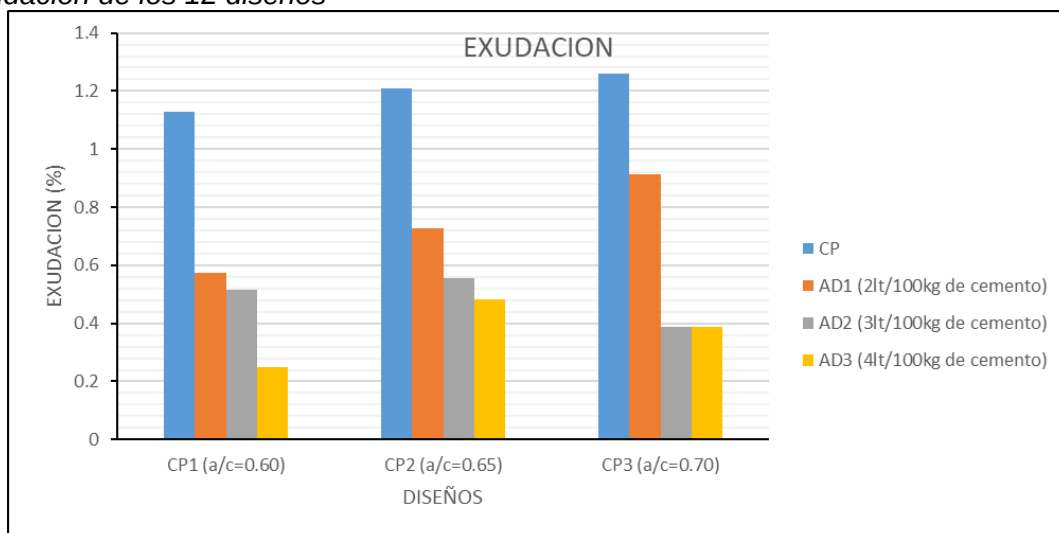
Análisis comparativo de la exudación de los 12 diseños.

	DISEÑO	Exudación (%)	Variación respecto del patrón (%)
CP1 $a/c=0.60$	CP1	1.127	100.000
	CP1-AD1	0.575	50.988
	CP1-AD2	0.514	45.592
	CP1-AD3	0.250	22.210
CP2 $a/c=0.65$	CP2	1.208	100.000
	CP2-AD1	0.727	60.171
	CP2-AD2	0.555	45.948
	CP2-AD3	0.484	40.055
CP3 $a/c=0.70$	CP3	1.258	100.000
	CP3-AD1	0.913	75.596
	CP3-AD2	0.389	32.169
	CP3-AD3	0.387	32.063

Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Exudación de los 12 diseños



Fuente: Elaboración propia

7.2. Análisis de resultados del concreto en estado endurecido

7.2.1. Resistencia a la compresión

Para el análisis de la resistencia a compresión, se toma como referencia a las recomendaciones de INACAL (2021f), en la cual recomiendan que la resistencia a la compresión de un concreto con aditivos no puede ser menor al 90% respecto del concreto patrón, en el caso específico de los aditivos acelerantes, el porcentaje que debe alcanzar es de 125% a los 3 días, 100% a los 7 días y 100% a los 28 días respecto del concreto patrón.

Se observa que el concreto con una relación $a/c=0.60$ (CP1), la resistencia a la compresión incrementa conforme al uso del aditivo de manera directamente proporcional, es decir, a mayor dosificación de aditivo, el incremento de la resistencia a la compresión es mayor para las edades analizadas en la presente investigación (1, 3, 7, 14 y 28 días), excepto para la edad de 1 día, en el que, para las 2 dosificaciones más bajas de aditivo se observó resistencias menores al patrón, y a los 28 días se observan resistencias cercanas al patrón, como se indica en la Tabla 61.

Tabla 61*Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$.*

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP1 (Kg/cm ²)	f'c CP1-AD1 (Kg/cm ²)	f'c CP1-AD2 (Kg/cm ²)	f'c CP1-AD3 (Kg/cm ²)
CP1 $a/c=0.60$	1	85.6	85.3	80.4	102.3
	3	215.7	237	229.7	237.8
	7	281.1	308.4	305	294.5
	14	326.1	342	338.2	337.9
	28	362.5	362.8	354.9	364.7

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la comparación de las resistencias respecto del concreto patrón a los 3 días, que ninguno de los diseños cumplió con los requerimientos mínimos que establece la norma NTP 334.088 (INACAL, 2021f), sin embargo, ninguna resistencia es menor al 90% respecto del patrón, se apreció un mayor porcentaje de desarrollo de la resistencia a los 3 días, tal como se muestra en la tabla 62.

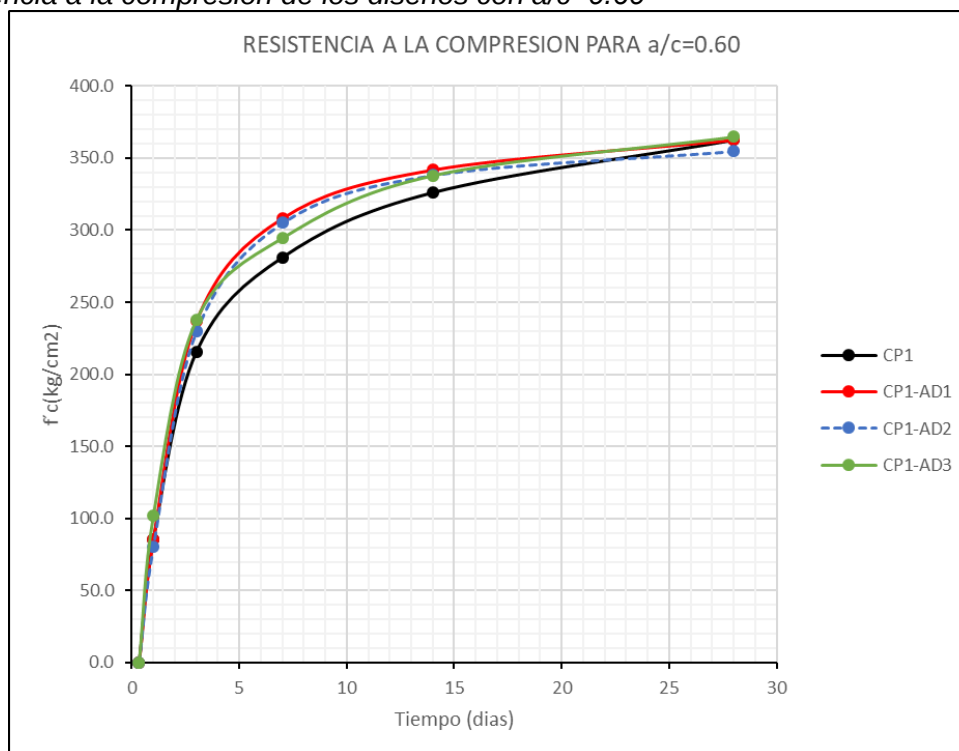
Tabla 62*Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$.*

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP1 (%)	f'c CP1-AD1 (%)	f'c CP1-AD2 (%)	f'c CP1-AD3 (%)
CP1 $a/c=0.60$	1	100.0	99.6	93.9	119.5
	3	100.0	109.9	106.5	110.2
	7	100.0	109.7	108.5	104.8
	14	100.0	104.9	103.7	103.6
	28	100.0	100.1	97.9	100.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.60$



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto con una relación $a/c=0.65$ (CP2), la resistencia a la compresión incrementa conforme al uso del aditivo de manera directamente proporcional, es decir, a mayor dosificación de aditivo, el incremento de la resistencia a la compresión es mayor para las edades analizadas en la presente investigación (1, 3, 7, 14 y 28 días), excepto para la edad de 1 día, en el que, para la dosificación más baja de aditivo se observa resistencia menor al patrón, y a los 28 días se observan resistencias cercanas al patrón, como se indica en la tabla 63.

Tabla 63

Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.65$.

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP2 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD1 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD2 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD3 (Kg/cm²)
CP2 $a/c=0.65$	1	67.7	73.5	99.1	66.4
	3	188.4	192.8	217.4	225.7
	7	242.2	240.3	273.8	277.8
	14	286.9	293.4	306.5	314.6
	28	320.2	322.9	345.5	337.9

Fuente: Elaboración propia

Observamos en la comparación de las resistencias respecto del concreto patrón a los 3 días, ningún diseño cumple con los requerimientos mínimos que establece la norma NTP 334.088 (INACAL, 2021f), sin embargo, ninguna resistencia es menor al 90% respecto

del patrón, se apreció un mayor porcentaje de desarrollo de la resistencia a los 3 días, tal como se muestra en la tabla 64.

Tabla 64

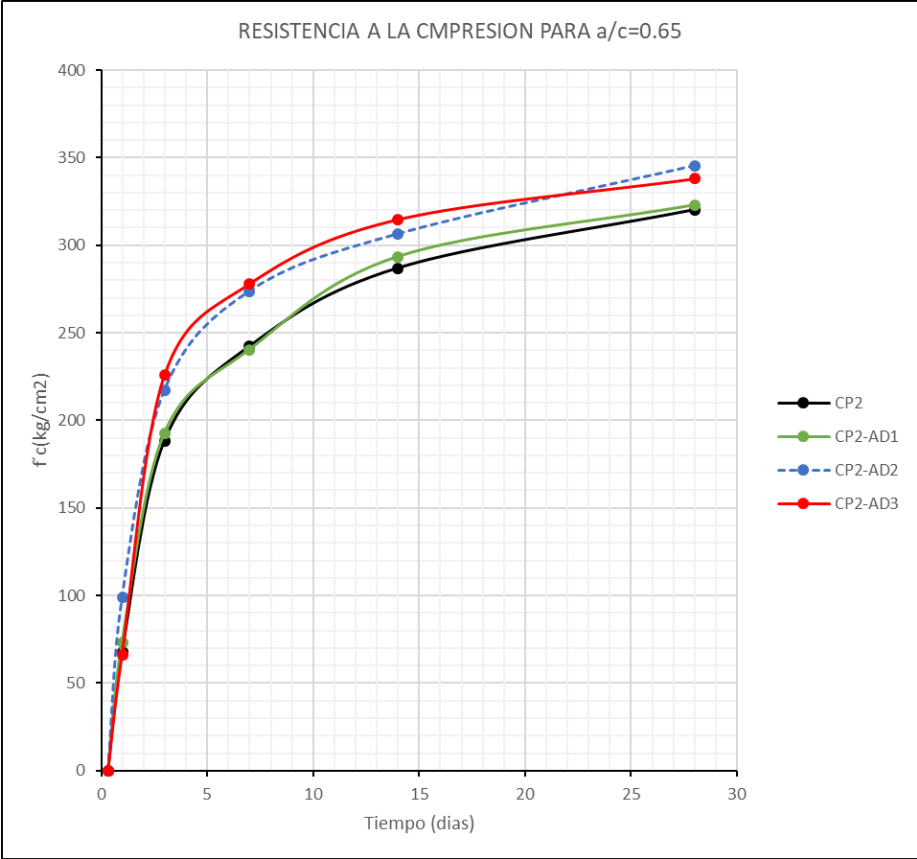
Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con a/c=0.65.

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP2 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD1 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD2 (Kg/cm²)	f'c CP2-AD3 (Kg/cm²)
CP2 a/c=0.65	1	100.0	108.6	146.4	98.1
	3	100.0	102.3	115.4	119.8
	7	100.0	99.2	113.0	114.7
	14	100.0	102.3	106.8	109.7
	28	100.0	100.8	107.9	105.5

Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Resistencia a la compresión de los diseños con a/c=0.65



Fuente: Elaboración propia

Para el concreto con una relación a/c=0.70(CP3), la resistencia a la compresión incrementa conforme al uso del aditivo de manera directamente proporcional, es decir, a mayor dosificación de aditivo, el incremento de la resistencia a la compresión es mayor para las edades analizadas en la presente investigación (1, 3, 7, 14 y 28 días), a los 28 días se observan resistencias cercanas al patrón, como se indica en la tabla 65.

Tabla 65*Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$.*

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD1 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD2 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD3 (Kg/cm ²)
CP3 $a/c=0.70$	1	44.4	56.0	56.4	76.6
	3	151.5	164.7	181.8	194.9
	7	230.9	244.3	248.9	250.6
	14	258.3	263.7	262.7	270.8
	28	294.2	294.5	303.0	310.7

Fuente: Elaboración propia

Observemos en la comparación de las resistencias respecto del concreto patrón, que sólo el diseño CP3-AD3 a 1 día cumple con los requerimientos mínimos que establece la norma NTP 334.088, sin embargo, ninguna resistencia resultó menor al 90% respecto del patrón, se aprecia un mayor porcentaje de desarrollo de la resistencia a los 3 días, tal como se muestra en la tabla 66.

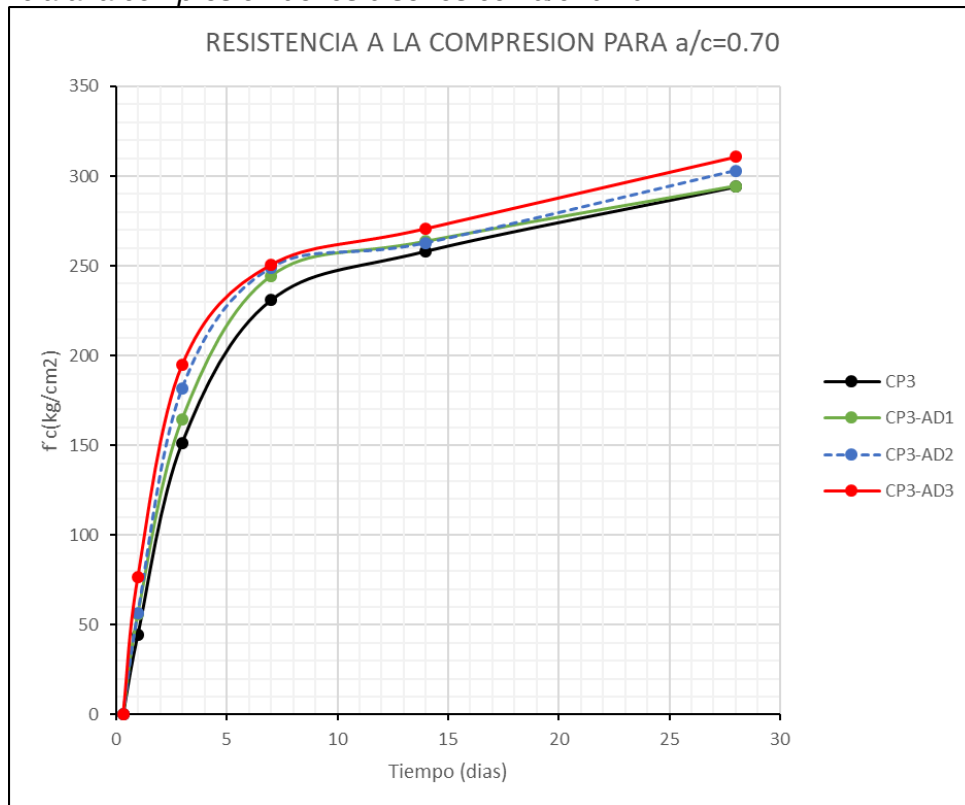
Tabla 66*Comparación de la resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$.*

DISEÑO	TIEMPO (DIAS)	f'c CP3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD1 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD2 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD3 (Kg/cm ²)
CP2 $a/c=0.70$	1	100.0	126.1	127.0	172.5
	3	100.0	108.7	120.0	128.6
	7	100.0	105.8	107.8	108.5
	14	100.0	102.1	101.7	104.8
	28	100.0	100.1	103.0	105.6

Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Resistencia a la compresión de los diseños con $a/c=0.70$



Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Resistencia a la tracción

Se realiza la comparación porcentual de cada diseño respecto de su concreto patrón, en el cual se observa un aumento de la resistencia a tracción indirecta en todos los casos, directamente proporcional la dosificación del aditivo para la relación $a/c=0.60$, para la relación $a/c=0.65$ la tendencia no fue tan clara, dándose una leve baja para el caso de la proporción media de aditivo (CP2-AD-2), para la relación $a/c=0.70$, la tendencia de crecimiento se mantiene, cabe resaltar que para todos los diseños, los valores de tracción indirecta se mantienen cercanos a su valor patrón.

Tabla 67

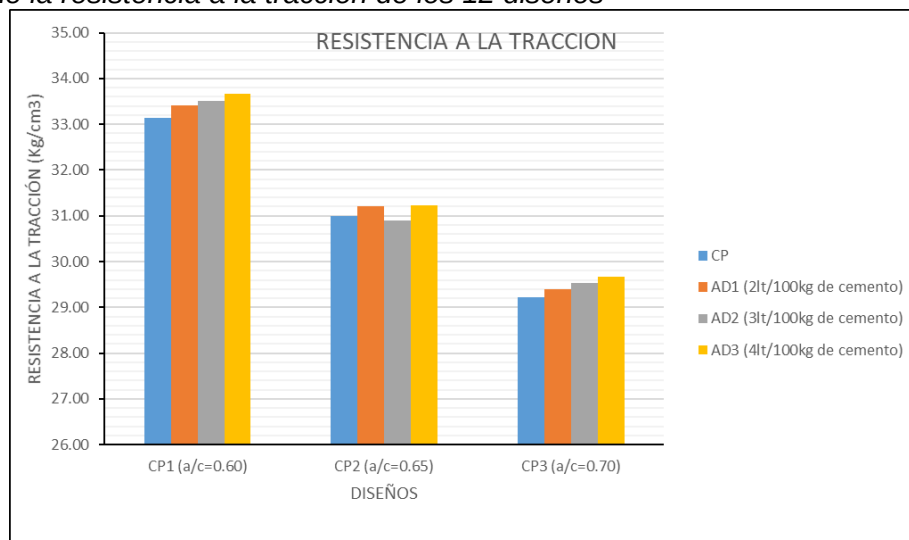
Análisis de la resistencia a la compresión de los 12 diseños.

ID	T(Kg/cm ²)	Variación respecto del patrón (%)
CP1 a/c=0.60	CP1	33.13
	CP1-AD1	33.41
	CP1-AD2	33.52
	CP1-AD3	33.67
CP2 a/c=0.65	CP2	31.00
	CP2-AD1	31.20
	CP2-AD2	30.89
	CP2-AD3	31.22
CP3 a/c=0.70	CP3	29.22
	CP3-AD1	29.40
	CP3-AD2	29.52
	CP3-AD3	29.68

Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Análisis de la resistencia a la tracción de los 12 diseños



Fuente: Elaboración propia

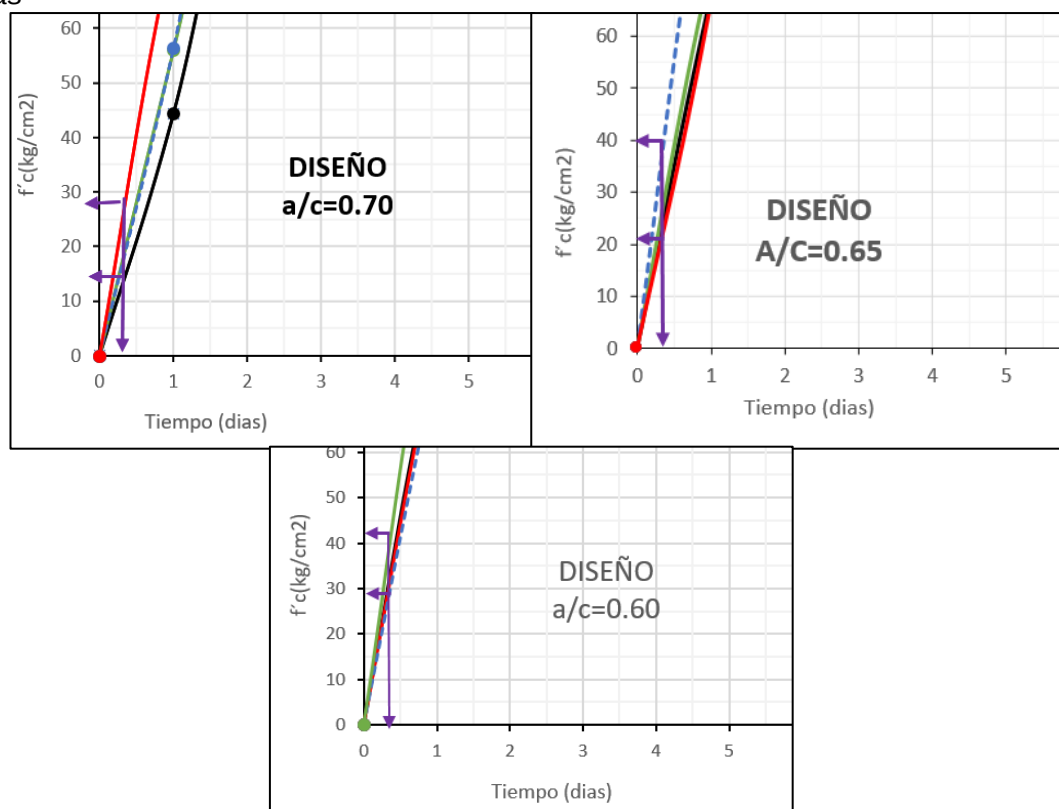
7.3. Análisis de las propiedades del concreto sobre dosificado

En la presente investigación busca estudiar las propiedades del concreto fresco y endurecido para ver si se cumplían con ciertos requerimientos de resistencia y de fraguado para condiciones específicas, como en lugares de situaciones de heladas, si bien es cierto, no se realizaron los ensayos a condiciones de temperaturas ambientales frías, sino en rangos de temperatura de entre 21 a 22°C, se pretende analizar si es que en una jornada normal de trabajo (8 horas), se podía llegar a condiciones de resistencia que recomienda

la norma ACI 306 R de 36 kg/cm² para que el agua de la mezcla termine de reaccionar con el cemento y no se congele, gráficamente podemos determinar que a una edad de 8 horas, para el diseño con relación a/c=0.70 se tiene rangos de resistencia entre 15 a 29 kg/cm², para el diseño con relación a/c=0.65 se tiene rangos de resistencia entre 21 a 40 kg/cm², para el diseño con relación a/c=0.60 se tiene rangos de resistencia entre 30 a 42 kg/cm², como indica en la figura 28.

Figura 28

Interpolación de las resistencias de las 3 relaciones a/c para estimar la resistencia a las 8 horas



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que para el caso de la presente investigación, los diseños con relación a/c= 0.60 y 0.65 cumplen con los requerimientos de resistencia planteados, sin embargo, se debe tener en cuenta que esta es una estimación gráfica, de modo que esta estimación podría ser poco conservadora, por tal motivo se tomó la decisión de sobre dosificar el aditivo para el diseño que presenta mayor resistencia, es así que se tienen los diseños para la relación a/c=0.60 con dosificación de aditivo de 5 litros por 100 kg de cemento (CP1-AD4), y 7 litros por 100 kg de cemento (CP1-AD5). Tal como indican las tablas 68 y 69.

Tabla 68

Diseño de concreto con a/c=0.60 y 5L por 100 Kg de cemento (CP1-AD4).

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (M3)	PESO SECO (KG)	PESO EN OBRA. (KG)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (KG)
A/C=	0.6	CEMENTO	0.12	365.00	365.00	1.00	42.50
RF=	54	AGUA	0.20	200.75	200.72	0.55	23.37
A(L)=	219	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.35	932.02	945.53	2.59	110.10
ADIT=	5L/100 KG	AGREGADO GRUESO	0.30	796.90	800.17	2.19	93.17
		ADITIVO	0.0183	19.38	19.38	0.05	2.26
SLUMP=	2.8	SUMA	0.98	2314.05	2330.79		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69

Diseño de concreto con a/c=0.60 y 7L por 100 Kg de cemento (CP1-AD5).

MEZCLA DE PRUEBA		MATERIALES	VOL (M3)	PESO SECO (KG)	PESO EN OBRA. (KG)	PESO UNITARIO HUMEDO	X BOLSA DE CEMENTO 42.5 KG (KG)
A/C=	0.6	CEMENTO	0.12	365.00	365.00	1.00	42.50
RF=	54	AGUA	0.19	193.45	192.96	0.53	22.47
A(L)=	219	AGREGADOS	--	--	--	--	--
AIRE=	2%	AGREGADO FINO	0.35	932.02	945.53	2.59	110.10
ADIT=	7L/100 Kg	AGREGADO GRUESO	0.30	796.90	800.17	2.19	93.17
		ADITIVO	0.0256	27.13	27.13	0.07	3.16
SLUMP=	2.8	SUMA	0.98	2314.50	2330.79		

Fuente: Elaboración propia

Se analiza solamente el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión del concreto, puesto que son los parámetros de mayor interés para la presente investigación.

7.3.1. Tiempo de fragua

Se puede evidenciar que el tiempo de fraguado inicial sigue con la tendencia descendente que se evidenciaba en los diseños de dosificación recomendada de aditivo, para la dosificación más alta el tiempo de fragua resultó mayor respecto del anterior diseño. En cuanto al tiempo de fragua final, se observa que, en la máxima dosificación recomendada, el tiempo de fragua sube respecto de la dosificación media, sin embargo, para los diseños que se dosifica más de lo recomendado en la ficha técnica, el tiempo de fragua final se reduce un poco, como se indica en la Tabla 70.

Tabla 70

Análisis de los tiempos de fraguado inicial y final de los diseños con $a/c=0.60$ y todas las dosificaciones de aditivo.

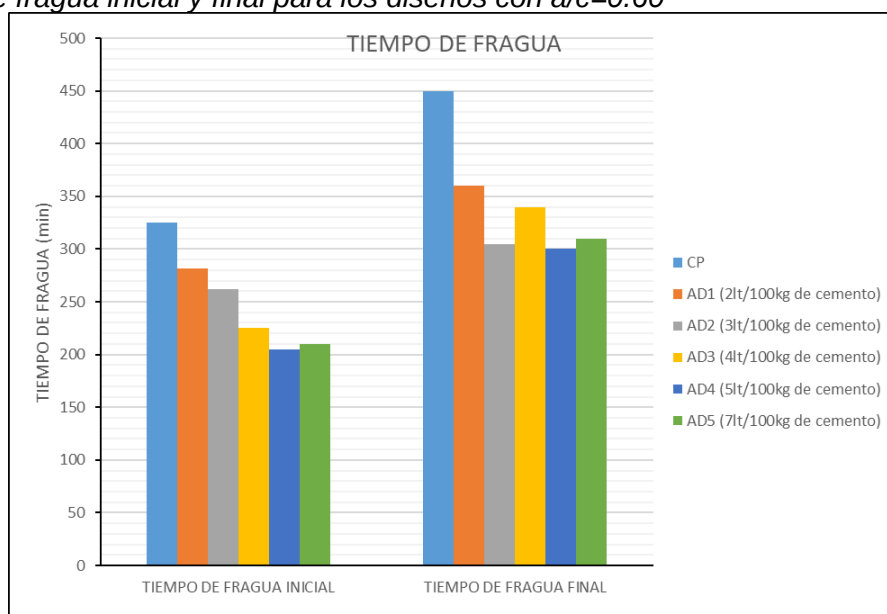
	Código	Tiempo de fragua (min)	Variación respecto del patrón (min)	Variación respecto del patrón (horas)	Variación respecto del patrón (%)
FRAGUA INICIAL	CP1	325	0.0	00:00:00	100.000
	CP1-AD1	282	43.0	00:43:00	86.769
	CP1-AD2	262	63.0	01:03:00	80.615
	CP1-AD3	225	100.0	01:40:00	69.231
	CP1-AD4	205	120.0	02:00:00	63.077
	CP1-AD5	210	115.0	01:55:00	64.615
FRAGUA FINAL	CP1	450	0.0	00:00:00	100.000
	CP1-AD1	360	90.0	01:30:00	80.000
	CP1-AD2	305	145.0	02:25:00	67.778
	CP1-AD3	340	110.0	01:50:00	75.556
	CP1-AD4	300	150.0	02:30:00	66.667
	CP1-AD5	310	140.0	02:20:00	68.889

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se puede apreciar que para CP1-AD5 el tiempo de fragua inicial subió respecto a CP1-AD4, en el caso del fraguado final, se observó lo mismo, en los diseños sobre dosificados estos son menores que CP1-AD3, sin embargo, se aprecia una tendencia a la subida del tiempo de fragua final en los diseños de mayor dosificación de aditivo.

Figura 29

Tiempo de fragua inicial y final para los diseños con $a/c=0.60$

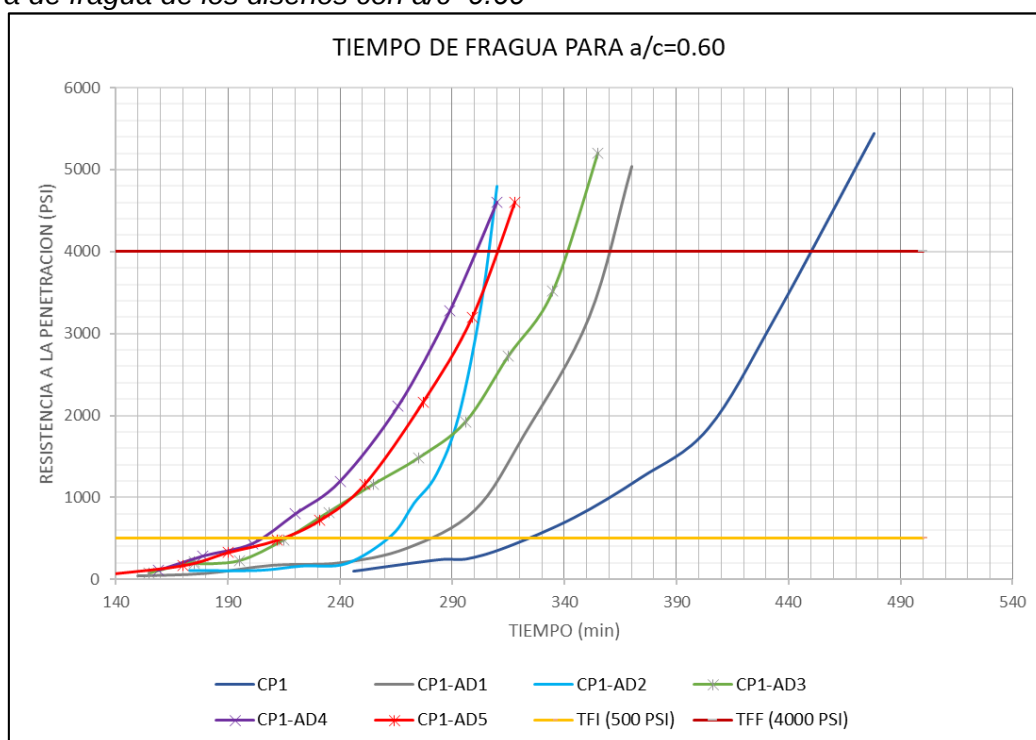


Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se muestra que los 3 primeros diseños siguen una tendencia, en la cual, a mayor cantidad de aditivo usado en la preparación de concreto, la curva se desplaza hacia la izquierda, la parte superior de la curva se pega hacia el eje del tiempo, sin embargo a partir de CP1-AD3, la curva solo se desplaza a la izquierda y la parte superior de la curva se pega al eje de la resistencia, lo cual hace que los tiempos de fraguado inicial siguieron una tendencia descendente, en el tiempo de fragua final no se siguió esta tendencia.

Figura 30

Curva de fragua de los diseños con $a/c=0.60$



Fuente: Elaboración propia

7.3.2. Resistencia a la compresión

En cuanto a la resistencia a la compresión, se toman muestras para ver sus valores a las 8 horas, evidenciando que se llega a la resistencia de 35 kg/cm² solo el diseño CP1-AD4, también se observa que el desarrollo de la resistencia a esa edad es aproximadamente lineal, por tanto, se podría decir que las aproximaciones graficas fueron bastante acertadas, el diseño en el que se usó mayor cantidad de aditivo redujo sus resistencias iniciales, como se indica en la Tabla 71.

Tabla 71*Resistencia a la compresión de los diseños con a/c=0.60.*

TIEMPO (DIAS)	f'c CP3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD1 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD2 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD4 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD5 (Kg/cm ²)
8H*	--	--	--	--	36.5	29.6
1	85.6	85.3	80.4	102.3	115.2	108.6
3	215.7	237.0	229.7	237.8	239.8	240.1
7	281.1	308.4	305.0	294.5	287.9	302.3
14	326.1	342.0	338.2	337.9	324.1	331.4
28	362.5	362.8	354.9	364.7	356.6	352.6

(*) 8H: 8 horas

Fuente: Elaboración propia

Las relaciones de resistencia respecto del patrón para los diseños sobre dimensionados no suben lo suficiente para cumplir con los requerimientos establecidos en la norma NTP 334.088 (INACAL, 2021f), sin embargo, se observó una subida considerable para 1 y 3 días, este incremento no es tanto para el diseño con dosificación mayor, en ambos casos se aprecia que las resistencias finales decrecen un poco, tal como se muestra en la Tabla 72.

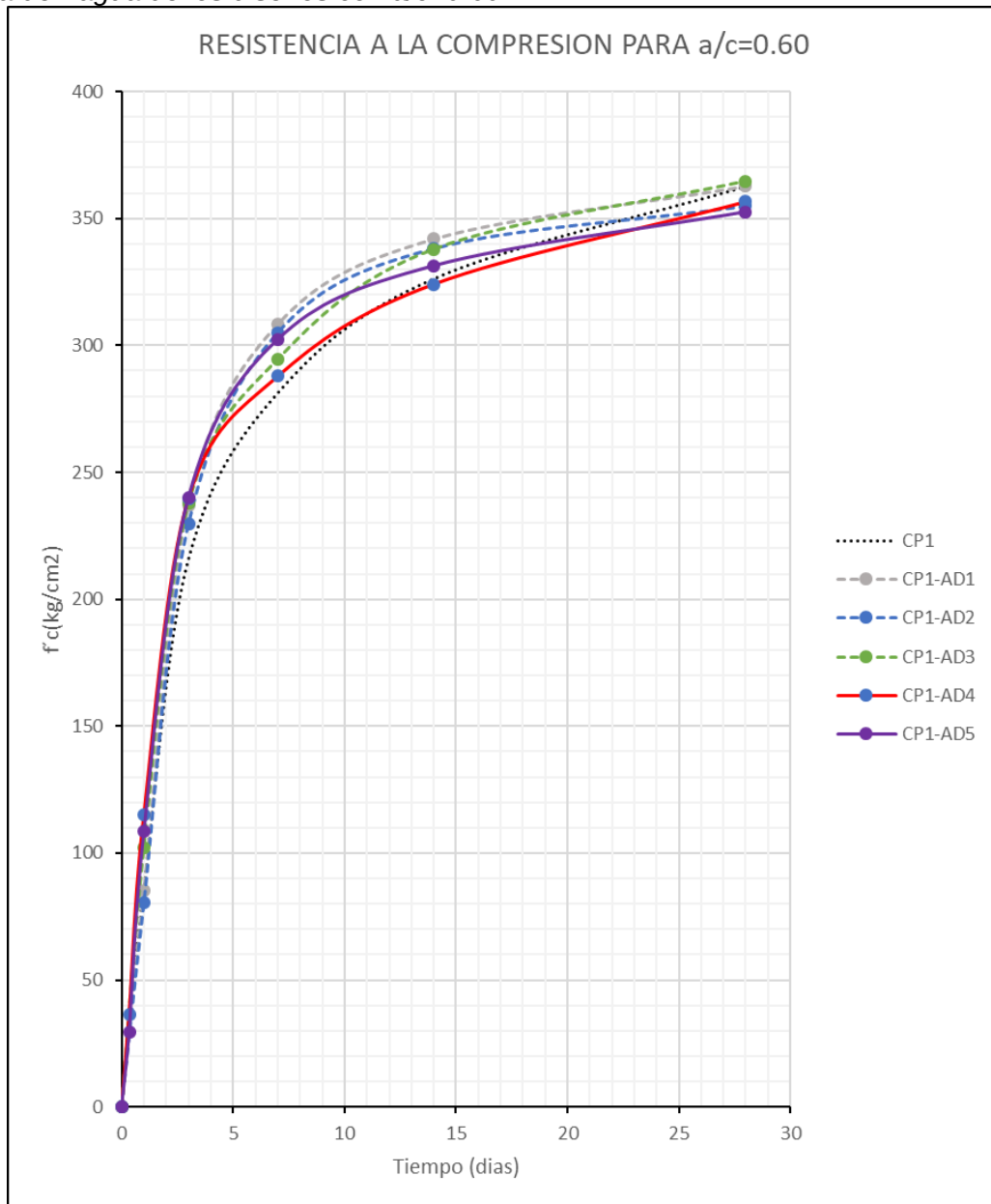
Tabla 72*Resistencia a la compresión de los diseños con a/c=0.60.*

TIEMPO (DIAS)	f'c CP3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD1 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD2 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD3 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD4 (Kg/cm ²)	f'c CP3-AD5 (Kg/cm ²)
1	100.0	99.6	93.9	119.5	134.6	126.9
3	100.0	109.9	106.5	110.2	111.2	111.3
7	100.0	109.7	108.5	104.8	102.4	107.5
14	100.0	104.9	103.7	103.6	99.4	101.6
28	100.0	100.1	97.9	100.6	98.4	97.3

Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Curva de fragua de los diseños con $a/c=0.60$



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Respecto de los agregados utilizados, se concluye que las características granulométricas y físicas de estos son aceptables para el diseño del concreto, en caso del aditivo acelerante, se determina que la densidad no corresponde con el dato mostrado en la ficha técnica.

Respecto al Peso Unitario, se concluye que este presenta un incremento conforme se aumenta la dosificación de aditivo acelerante para cada relación a/c.

Respecto al contenido de aire atrapado, se concluye que existe un leve deceso del contenido de aire conforme se aumenta la dosificación del aditivo acelerante.

Respecto al tiempo de fraguado inicial, se concluye que este disminuyó conforme se aumenta la dosificación de aditivo acelerante líquido para cada relación a/c.

Respecto a los parámetros de comparación del tiempo de fraguado inicial con la normativa, se concluye que los diseños con la cantidad mínima de aditivo (CP1-AD1, CP2-AD1, CP3-AD1) no cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTP 334.088.

Respecto del tiempo de fragua final, se concluye que mientras se incrementa la dosificación de aditivo acelerante, mayor es la reducción del tiempo de fragua final para cada relación a/c.

Respecto a los parámetros de comparación del tiempo de fraguado final con la normativa, se concluye que en todos los casos se cumplen con los requerimientos establecidos por la norma NTP 334.088.

Respecto de los 2 diseños usando una dosificación mayor a la indicada en la ficha técnica del aditivo acelerante en el diseño CP1 (CP1-AD4 y CP1-AD5), los tiempos de fragua inicial y final cumplen con lo establecido en la normativa correspondiente, el tiempo de fragua inicial y final disminuyen conforme la dosificación es mayor.

Respecto a la exudación se concluye que esta es menor conforme se usó una dosificación mayor de aditivo acelerante para cada relación a/c.

Respecto de las resistencias a los 3 días, se concluye que las resistencias a la compresión aumentan conforme el incremento de dosificación de aditivo para cada relación a/c, sin embargo, en ningún caso se llegó a cumplir con el requisito establecido en la norma respecto del aumento de la resistencia respecto del concreto patrón de 125% a los 3 días, el único diseño que cumplió este requerimiento es en el diseño CP3-AD3 (a/c=0.7 y 4L de

aditivo por 100 kg de cemento, la mayor relación a/c y la mayor dosificación de aditivo de la investigación) que llegó al 128.6%.

Respecto a las resistencias a edades de 7 y 28 días, se concluye que conforme mayor es la dosificación, se presenta un leve aumento de estas resistencias para cada relación a/c, lo cual indica que se cumple con lo establecido en la normativa vigente. El incremento de la resistencia para los diseños cuyas dosificaciones fueron mayores a lo recomendado en la ficha técnica del fabricante no es muy significativo, cabe resaltar que se llegó a la resistencia mínima de 35kg/cm^2 a las 8 horas establecida en ACI 360-R para concreto vaciado a baja temperatura, este resultado está sujeto a las condiciones climáticas en las que el concreto fue vaciado de entre 19 a 21.5°C en la ciudad de Lima.

Respecto de las resistencias a la tracción, se concluye que, con a mayor dosificación de aditivo acelerante, se nota un leve incremento de esta resistencia.

Recomendaciones

Se recomienda que antes de la realización del diseño de concreto, se realicen los ensayos físicos de los aditivos, puesto que en esta investigación la densidad real no era la misma que la que se indicaba en la ficha técnica.

Se recomienda estudiar si el descenso de la exudación del concreto con este aditivo líquido afecta a las propiedades físicas del concreto, teóricamente se sabe que, si la exudación es menor a la evaporación del agua, esto puede afectar a la hidratación del concreto de la superficie.

Se recomienda replicar estos ensayos en las condiciones de friajes, bajas presiones atmosféricas y altas radiaciones para evaluar la influencia de las condiciones ambientales en las características estudiadas en la presente investigación, debido a que los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) en la ciudad de Lima, a temperaturas ambientales de entre 19 a 22°C, los resultados de los ensayos están sujetos a estas condiciones ambientales, si bien es cierto se consideraron ciertas condiciones como los friajes.

Se recomienda evaluar la influencia de la temperatura en las pozas de curado para los estudios en laboratorio, debido a que las bajas temperaturas de las pozas de curado en laboratorios podrían contaminar los resultados de los diseños de mezcla una vez que se lleven a campo.

Se recomienda la evaluación del uso de la información de la presente investigación sujeta a las condiciones y materiales que se utilizaron.

En cuanto a las condiciones de desencofrado, se debe tomar en cuenta que las recomendaciones de la norma E-0.60, en ella se explica que el concreto puede ser desencofrado cuando alcanza la resistencia suficiente para soportar las cargas a las que está sometida, por tanto, si es posible reducir el tiempo de desencofrado a los 3 días que es donde se presenta la mayor ganancia de resistencia a la compresión.

Referencias bibliográficas

- American Concrete Institute. (1997). *Standard Practice for selecting Proportions for Normal Heavyweight, and mass Concrete (ACI 211.1-91)*.
- American Concrete Institute. (2010a). *Guia para la colocacion de concreto en clima caliente (ACI 305R-10)*.
- American Concrete Institute. (2010b). *Informe sobre Aditivos Quimicos para Hormigon (ACI 212.3R-10)*.
- American Concrete Institute. (2010c). *Guide to Cold Weather Concreting (ACI 306R-10)*.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete aggregates (ASTM C125)*.
- Gomezjurado Sarria, J., Sánchez de Guzmán, D., Osorio Redondo, J., & Niño Hernández, J. (2010). *Tecnología del Concreto*. Asociacion Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO.
- Huaraca Gamboa, J. (2021). *Influencia de la aplicacion de acitivo acelerante de resistencia temprana en las propiedades del concreto*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingenieria].
- Instituto Nacional de Calidad. (2013a). *CONCRETO, Práctica normalizada para la elaboración y curado del concreto en el laboratorio (NTP 339.183)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2013b). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto (NTP 339.183)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2017a). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica (NTP 339.084)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2017b). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración (NTP 339.082)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2017c). *CONCRETO. Método de ensayo volumétrico para determinar el contenido de aire del concreto fresco (NTP 339.081)*.
- Instituto Nacional de Calidad. (2019a). *CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto (NTP 339.046)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2019b). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados (NTP 339.047)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2020a). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos (NTP 400.011)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2020b). *AGREGADOS. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo (NTP 400.021)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2020c). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2020d). *CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos (NTP 334.009)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2020e). *CONCRETO. Determinación de la exudación del concreto. Métodos de ensayo (NTP 339.077)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021a). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Especificaciones (NTP 400.037)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021b). *AGREGADOS. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo (NTP 400.022)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021c). *AGREGADOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo (NTP 339.185)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021d). *CONCRETO. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021e). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo (NTP 400.012)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021f). *CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto (NTP 334.088)*.

Instituto Nacional de Calidad. (2021g). *CONCRETO. Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado. Método de ensayo (NTP 339.184)*.

- Instituto Nacional de Calidad. (2022). *CONCRETO. Método del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo (NTP 339.035)*.
- Juchani Lauracio, A. F. (2020). *Estudio del concreto con aditivo acelerante en polvo, utilizando cemento pórtland tipo I*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Master Builder Solutions. (2021). <https://assets.master-builders-solutions.com/es-pe/master-x-seed-100.pdf>.
- Medina, U. (2001). *Efectos del aditivo acelerante del fraguado sobre las propiedades del concreto preparado con cemento Pórtland tipo I*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Ninaya Calderón, S., & Melgar Vásquez, E. (2016). *Empleo de nuevas tecnologías para el desarrollo de altas resistencias iniciales en concretos prefabricados*. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Ortiz Lozano, J. A. (2005). *Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña].
- Pucutuni Yapura, S., & Arias Aquino, E. (2019). *Diseño de concreto fast track con fines de uso para rehabilitación de pavimentos rígidos en la ciudad de Juliaca*. [Tesis de grado] Universidad Peruana Unión].
- Ramachandran, V. (1995). *Concrete Admixtuare Handbook Propierties, science, and Tecnology*. Institute for Research in Construction National Research.
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Bogotá: BAHANDAR EDITORES LTDA.
- Servicion Nacional de Capacitacion para la Industria de la Construcción. (2019). *Normas del Reglamento Nacional de Edicicaciones (E.060)*. Lima.
- Servicion Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (s.f.). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climatica Nacional*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-friajes-preguntas>
- Torres Haro, P. (2015). *Diseño de hormigon en bajas temperaturas para aplicacion en las construcciones de la estación cinetifica Antártica ecuatoriana "Pedro Vicente Maldonado"*. [Tesis de Maestria, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil].

Anexos

Anexo 1: Panel fotográfico.....	1
Anexo 2: Ficha técnica de cemento Sol tipo I.....	8
Anexo 3: Ficha técnica de aditivo líquido.....	10

Anexo 1: Panel fotográfico

Fotografía 1

Cuarteo de agregado grueso



Fotografía 2

Vibradora para granulometría de agregado fino



Fotografía 3

Vibradora para granulometría de agregado grueso



Fotografía 4

Determinación del estado de superficialmente seco del agregado fino



Fotografía 5

Preparación de la muestra para ensayo de contenido de aire



Fotografía 6

Olla de Washington para determinar el contenido de aire



Fotografía 7

Determinación de asentamiento de concreto



Fotografía 8

Ensayo de tiempo de fraguado



Fotografía 9

Extracción de agua para ensayo de exudación



Fotografía 10

Aditivo acelerante líquido



Fotografía 11

Rectificación de densidad de aditivo acelerante líquido



Fotografía 12

Poza de curado de probetas cilíndricas



Fotografía 13

Ensayo a compresión de probetas cilíndricas



Fotografía 14

Ensayo de tracción indirecta



Anexo 2: Ficha técnica de cemento Sol tipo I



FICHA TÉCNICA CEMENTO SOL

DESCRIPCIÓN:

Tipo I, Cemento Portland de uso general.

BENEFICIOS:

- > Acelerado desarrollo de resistencias iniciales.
- > Óptima trabajabilidad.
- > Permite menor tiempo de desencofrado.
- > Excelente desarrollo de resistencias en shotcrete.
- > Excelente permanencia del slump.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- > Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP - 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

APLICACIONES:

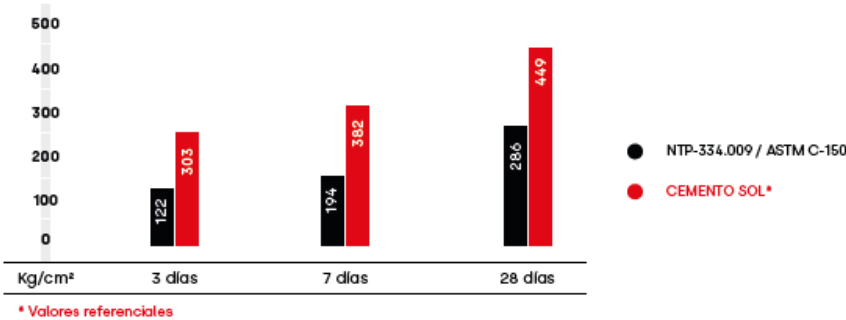
- > Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- > Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- > Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- > Bolsas de 25 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- > Granel: A despacharse en camiones bombonas y big bags.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO SOL



PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	323	Mínimo 240
Densidad	g/cm ³	3.13	No específica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	449	Mínimo 285 (*)
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C2S	%	12	No específica
C3S	%	55	No específica
C3A	%	10	No específica
C4AF	%	10	No específica

(*) Requisito opcional

RECOMENDACIONES GENERALES

DOSIFICACIÓN:

- > Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas.
- > Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- > Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días.

MANIPULACIÓN:

- > Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- > Usar la vestimenta y app adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas.
- > El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel.

ALMACENAMIENTO:

- > Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad.
- > Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrirlas con mantas de plástico.
- > Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

Anexo 3: Ficha técnica de aditivo líquido



MasterX-Seed 100

Agente activador de la hidratación del cemento para potenciar el desarrollo de resistencias iniciales y finales del hormigón y para proteger el hormigón frente a la corrosión.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

MasterX-Seed 100 es una suspensión de nanopartículas de CSH que actúan como núcleo de cristalización facilitando la formación acelerada de gel CSH en la solución.

MasterX-Seed 100 ha sido especialmente diseñado para potenciar el proceso de hidratación del cemento a edades tempranas (6-12h).

MasterX-Seed 100 favorece la consecución de resistencias iniciales del hormigón a cualquier temperatura incluso con curado térmico.

Contrariamente a los acelerantes tradicionales, su tecnología única que permite el desarrollo de cristales entre las partículas de cemento, el desarrollo de resistencias iniciales es mejorado sin afectar a las resistencias finales o incluso mejorándolas y construyendo una microestructura más cerrada que favorece la durabilidad del hormigón.

MasterX-Seed 100 aporta simultáneamente un efecto inhibidor de corrosión que protege las estructuras de hormigón armado contra el ataque por cloruros u otros agentes agresivos que actúan como promotores de la oxidación de las armaduras.



La propuesta de valor de MasterX-Seed 100 se puede resumir en varios puntos:

- Proceso eficiente
- Reducción de la energía consumida
- Optimización de materiales
- Alta calidad del hormigón fabricado

La aportación de MasterX-Seed 100 se dirige a cubrir algunos de los requerimientos clave de la industria del hormigón contribuyendo a su mejora. En particular, MasterX-Seed 100 ha sido desarrollado para aportar mejoras productivas, reducir la energía necesaria en el proceso, mejorar la calidad-durabilidad de las piezas de hormigón y hacer una construcción más sostenible.

CAMPO DE APLICACIÓN

MasterX-Seed 100 está recomendado para cualquier tipo de hormigón y especialmente para elementos estructurales donde se precisen muy altas resistencias iniciales. MasterX-Seed 100 es una alternativa a los métodos tradicionales de curado y destaca por sus prestaciones con temperaturas muy bajas y cementos con poco clinker y baja clase resistente.

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

MasterX-Seed 100 ofrece los siguientes beneficios:

Muy altas resistencias iniciales a cualquier temperatura incluso con curado térmico.

Flexibilidad en la capacidad de producción y optimización de fábrica.

Incrementa los ciclos de producción (posibilidad de doblar producción).

Mayor rendimiento de los encofrados por mayor rotación.

Reducción/eliminación del curado térmico.

Eliminación del coste de instalaciones de curado y su mantenimiento.

Permite usar la cantidad mínima de cemento necesaria.

Permite el uso de cementos con menor cantidad de clinker y menor clase resistente así como el uso de adiciones.

Actúa como inhibidor de corrosión, incrementando la durabilidad de la estructura.

MODO DE UTILIZACIÓN

MasterX-Seed 100 es un aditivo líquido listo para ser utilizado. Se añade al hormigón durante el proceso de mezcla, respetando un tiempo de mezclado mínimo para asegurar su dispersión homogénea.

MasterX-Seed 100

Agente activador de la hidratación del cemento para potenciar el desarrollo de resistencias iniciales y finales del hormigón y para proteger el hormigón frente a la corrosión.

DOSIFICACIÓN

La dosificación recomendada es de 2 a 4 litros por 100 kg de cemento.

Dosificaciones diferentes a las recomendadas son posibles con ensayos previos que justifiquen su buen rendimiento.

Se recomienda en cada caso realizar los ensayos oportunos para determinar la dosificación óptima.

COMPATIBILIDAD

MasterX-Seed 100 es compatible con todas las tecnologías principales de Master Builders Solutions España, S.L.U., en particular con:

Gama MasterGlenium de superplastificantes.

Agente modificador de la viscosidad MasterMatrix para aumentar la robustez en hormigón autocompactante.

Gama MasterFinish desencofrantes para facilitar el desmoldeo y mejorar los acabados superficiales.

PRESENTACIÓN

Se suministra en garrafas de 25 Kg, en contenedores de 1150 kg y a granel en cisterna.

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO/ TIEMPO DE CONSERVACIÓN

Almacenar en lugar fresco y seco, con temperaturas superiores a 5° C. Evitar su congelación. Si se congela, podrá reconstituirse mediante agitación mecánica suave.

En caso de almacenamiento prolongado, se aconseja agitar el producto antes de su uso, a fin de homogeneizar el producto.

En estas condiciones puede almacenarse hasta 6 meses en sus envases originales cerrados.

MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE

Para su manipulación deberán observarse las medidas preventivas usuales para el manejo de productos químicos, por ejemplo usar gafas y guantes. Lavarse las manos antes de una pausa y al término del trabajo. No comer, beber y fumar durante la aplicación.

La eliminación del producto y su envase debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y es responsabilidad del poseedor final.

Para más información, consultar la Hoja de seguridad del producto.

HAY QUE TENER EN CUENTA

Es imprescindible la realización de ensayos previos a la utilización del producto.

No emplear dosificaciones inferiores ni superiores a las recomendadas sin previa consulta con nuestro Departamento Técnico.

No mezclar con otros aditivos sin previa consulta.

MasterX-Seed 100

Agente activador de la hidratación del cemento para potenciar el desarrollo de resistencias iniciales y finales del hormigón y para proteger el hormigón frente a la corrosión.

Propiedades	
Función principal:	Activador de la hidratación del cemento.
Función secundaria:	Inhibidor de la corrosión
Aspecto físico:	Líquido blanco.
Densidad, 20° C:	1,130 ± 0,02 g/cm ³
pH, 20° C:	10 – 11,4
Viscosidad Brookfield 20° C Sp00/20rpm:	< 275 cps.
Contenido en cloruros:	< 0,1%
Los datos técnicos reflejados son fruto de resultados estadísticos y no representan mínimos garantizados. Si se desean los datos de control, pueden solicitarse las "Especificaciones de Venta" a nuestro Departamento Técnico.	



MARCADO CE DE PRODUCTO BAJO LA
DIRECTIVA UE DE PRODUCTOS DE LA
CONSTRUCCIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

NOTA:

La presente ficha técnica sirve, al igual que todas las demás recomendaciones e información técnica, únicamente para la descripción de las características del producto, forma de empleo y sus aplicaciones. Los datos e informaciones reproducidos, se basan en nuestros conocimientos técnicos obtenidos en la bibliografía, en ensayos de laboratorio y en la práctica.
Los datos sobre consumo y dosificación que figuran en esta ficha técnica, se basan en nuestra propia experiencia, por lo que estos son susceptibles de variaciones debido a las diferentes condiciones de las obras. Los consumos y dosificaciones reales, deberán determinarse en la obra, mediante ensayos previos y son responsabilidad del cliente.
Para un asesoramiento adicional, nuestro Servicio Técnico, está a su disposición.
Master Builders Solutions España, S.L.U. se reserva el derecho de modificar la composición de los productos, siempre y cuando éstos continúen cumpliendo las características descritas en la ficha técnica.
Otras aplicaciones del producto que no se ajusten a las indicadas, no serán de nuestra responsabilidad.
Otorgamos garantía en caso de defectos en la calidad de fabricación de nuestros productos, quedando excluidas las reclamaciones adicionales, siendo de nuestra responsabilidad tan solo la de reintegrar el valor de la mercancía suministrada.
Debe tenerse en cuenta las eventuales reservas correspondientes a patentes o derechos de terceros.
La presente ficha técnica pierde su validez con la aparición de una nueva edición.

CONTACTO

Master Builders Solutions España, S.L.U.
Ctra. de l'Hospitalet, 147-149, Edificio Viena 1a Planta, 08940, Cornellà de Llobregat (Barcelona)
Tel. 93 619 46 00
mbs-cc@mbcc-group.com
www.master-builders-solutions.com/es-es