

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ESTUDIO DEL CONCRETO USANDO ADITIVO REDUCTOR
DE AGUA DE ALTO RANGO PARA CONCRETOS DE
MEDIANA A ALTA RESISTENCIA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR
FISHER LINCOLN CONDOR LAPA
ID: 0009-0003-5677-8057**

**ASESOR
Mag. MAX HUAYNALAYA RASHUAMAN
ID: 0000-0002-8956-2194**

LIMA- PERÚ

2024

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados.

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Condor Lapa, Fisher Lincoln

fcondorl@uni.pe

998480272

DEDICATORIA:

En agradecimiento a mi madre Marisol Lapa Villegas, a mi padre Grover Samuel Condor Suarez y a mis compañeros de universidad, a quienes dedico esta tesis.

A mis padres, por su amor incondicional en todas las etapas de mi vida y sus apoyos constantes en mi camino académico.

A mis compañeros, por su colaboración, motivación y amistad verdadera durante estos años.

Esta tesis es un testimonio de su influencia en mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional de Ingeniería por brindarme la oportunidad de realizar esta tesis y por su apoyo constante en mi formación académica.

A todos los ingenieros, técnicos y colaboradores del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) por su invaluable contribución y asistencia en el desarrollo de esta investigación.

En especial, al Mag. Max Huaynalaya Rashuaman, mi asesor, por su disponibilidad, paciencia y dedicación en cada etapa de este proceso. Su orientación y guía fueron fundamentales para culminar esta tesis con éxito.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract.....	7
Prólogo.....	9
Lista de tablas.....	10
Lista de gráficos	13
Lista de símbolos y siglas	15
Capítulo I: Introducción.....	17
1.1 Generalidades	17
1.2 Descripción del Problema de Investigación.....	18
1.3 Problemas del Estudio	19
1.3.1 Problema General.....	19
1.3.2 Problemas Específicos	19
1.4 Objetivos del Estudio	20
1.4.1 Objetivo General.....	20
1.4.2 Objetivos Específicos.....	20
1.5 Hipótesis.....	20
1.5.1 Hipótesis General	20
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	20
1.6 Marco Metodológico.....	21
1.6.1 Tipo de Investigación	21
1.6.2 Nivel de Investigación	21
1.6.3 Método de Investigación	21
1.6.4 Población y Muestra	22
1.7 Antecedentes Investigativos	22
1.7.1 Antecedentes Internacionales.....	22
1.7.2 Antecedentes Nacionales	24

1.7.3 Análisis de los Antecedentes	25
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	29
2.1 Concreto	29
2.1.1 Definición	29
2.1.2 Características	29
2.1.3 Tipos de concreto	30
2.1.4 Componentes del concreto	30
Capítulo III: Materiales, propiedades y ensayos	37
3.1 Propiedades de los Agregados	37
3.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012:2021)	37
3.1.2 Peso Unitario (NTP 400.017:2020:2020)	39
3.1.3 Peso específico del agregado fino (NTP 400.022:2021)	41
3.1.4 Peso específico del agregado grueso (NTP 400.021:2020)	43
3.1.5 Porcentaje que pasa la malla N°200 (NTP 400.018:2020)	47
3.2 Materiales Usados en la Presente Investigación	47
3.2.1 Cemento usado en la investigación	47
3.2.2 Agua usada en la investigación	48
3.2.3 Aditivo usado en la investigación	48
3.2.4 Agregados usados en la investigación	49
3.3 Resultados de los Ensayos de Agregados	49
3.3.1 Resultados de los ensayos del agregado fino	49
3.3.2 Resultados de los ensayos del agregado grueso	51
3.4 Agregado Global	52
3.4.1 Peso unitario compactado del agregado global	52
3.4.2 Análisis granulométrico del agregado global	54
Capítulo IV: Diseño del concreto	56
4.1 Generalidades	56

4.2 Métodos de Diseño	56
4.2.1 Método por la relación agua cemento	56
4.2.2 Método del comité ACI211	57
4.2.3 Método del módulo de finura de la combinación de agregados	57
4.3 Método del Agregado Global	58
4.4 Secuencia de la Metodología para el Diseño de la Mezcla	59
4.5 Diseño del Concreto Patrón	59
4.5.1 Método para la obtención del agua	59
4.5.2 Determinación de la relación arena/piedra por resistencia	62
Capítulo V: Elaboración de muestras para los ensayos	66
5.1 Dosificación del Concreto Patrón	66
5.1.1 Concreto Patrón con relación $a/c = 0.45$	66
5.1.2 Concreto Patrón con relación $a/c = 0.50$	67
5.1.3 Concreto Patrón con relación $a/c = 0.55$	67
5.2 Elaboración del Diseño del Concreto Patrón con Incorporación de Aditivo ..	68
5.2.1 Dosificación de $a/c = 0.45$ con aditivo	68
5.2.2 Dosificación de $a/c = 0.50$ con aditivo	69
5.2.3 Dosificación de $a/c = 0.55$ con aditivo	71
5.3 Resultado del Agua Reducida en cada Diseño	73
Capítulo VI: Resultado de los ensayos	76
6.1 Ensayos	76
6.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco	76
6.2.1 Asentamiento (NTP 339.035:2022)	76
6.2.2 Peso unitario (NTP 339.046:2019)	81
6.2.3 Fluidez (NTP 339.085:2016)	85
6.2.4 Contenido de aire (NTP 339.083:2019)	89
6.2.5 Exudación (NTP 339.077:2020)	92

6.2.6 Tiempo de fraguado (NTP 339.082:2017).....	96
6.3 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido	99
6.3.1 Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034:2021)	100
6.3.2 Resistencia a la tracción diametral (NTP 339.084:2012).....	105
Capítulo VII: Análisis de los resultados	108
7.1 Análisis de Agregados (NTP 339.037:2015:2015)	108
7.1.1 Agregado fino	108
7.1.2 Agregado grueso	108
7.1.3 Agregado global.....	108
7.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco	109
7.2.1 Asentamiento (NTP 339.035:2022)	109
7.2.2 Peso unitario (NTP 339.046:2019)	110
7.2.3 Fluidez (NTP 339.085:2016)	111
7.2.4 Contenido de aire (NTP 339.083:2017).....	112
7.2.5 Exudación (NTP 339.077:2020)	113
7.2.6 Tiempo de fragua (NTP 339.082:2017).....	114
7.3 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido	115
7.3.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034:2021)	115
7.3.2 Resistencia a la tracción (NTP 339.084:2012)	117
7.4 Análisis de la Reducción de la Cantidad de Agua	118
Conclusiones	119
Recomendaciones	123
Referencias bibliográficas	124
Anexos	127

Resumen

Actualmente, debido a factores como el rápido crecimiento de las ciudades o al constante avance de la tecnología, se requieren estructuras de grandes dimensiones y siendo el concreto armado el material de construcción más usado a nivel global, se necesita que este pueda soportar mayores esfuerzos.

Debido a lo anterior, se diseñan estructuras de concreto que cada vez cuentan con una mayor cantidad de acero, debiendo de usarse mezclas de concreto que sean fluidas sin que esto disminuya su resistencia tras el fraguado.

En la búsqueda de obtener mezclas de concreto fluidas que alcancen altas resistencias, se desarrollaron los aditivos plastificantes. Sin embargo, con el paso del tiempo, estos vienen siendo mejorados, cambiando sus componentes. Se han desarrollado investigaciones acerca del uso de estos aditivos, pero debido a que estos se vienen modificando, se deben realizar periódicamente investigaciones acerca de su efecto en el concreto. La última generación de estos aditivos fue denominada como “superplastificantes reductores de alto rango”, y está conformado por policarboxilatos.

Si bien se han realizado algunas investigaciones acerca del aditivo superplastificante de última generación (reductor de agua de alto rango), la mayoría se enfocó en estudiar el asentamiento y la resistencia a compresión.

Por tanto, la investigación tuvo como objetivo conocer los efectos que genera la incorporación de aditivo reductor de agua de alto rango en diversas propiedades del concreto de mediana a alta resistencia en su estado fresco (asentamiento, peso unitario, fluidez, contenido de aire, exudación y tiempo de fraguado) y en su estado endurecido (resistencia a tracción y resistencia a compresión). Todos los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La investigación que se realizó fue de tipo experimental, de nivel comparativo y se desarrolló bajo un método inductivo.

En la presente investigación se usó agregado fino de la cantera Trapiche y agregado grueso de la cantera UNICON.

Previo a la producción del concreto se realizaron ensayos a los agregados fino, grueso y en conjunto (agregado global) para encontrar la proporción óptima entre estos. Tras lo cual, se realizaron ensayos al concreto en estado fresco y

endurecido, se trabajó con 12 diseños de mezcla (3 de concreto patrón y 9 con aditivo); estos diseños se realizaron buscando un asentamiento de 6" a 7". Se usaron relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50, 0.55; y luego para cada relación agua/cemento del concreto patrón se usó las dosificaciones de aditivo en 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso de cemento.

Se concluyó que, con la incorporación del aditivo reductor de alto rango, el efecto en las propiedades del concreto en estado fresco fueron: el peso unitario aumentó ligeramente; la fluidez aumentó, pero para una dosis de 1.25% disminuyó, por lo que habría un punto en el que a mayor dosificación, la fluidez dejaría de aumentar; el contenido de aire aumentó, pero este aumento no tuvo un impacto significativo en la resistencia a compresión; la exudación aumentó en promedio un 90%, lo cual podría ayudar a disminuir el fisuramiento de algunos elementos de concreto; y el tiempo de fragua tanto inicial como final aumentaron en promedio un 20%, lo cual sería beneficioso para estructuras en climas cálidos.

También se concluyó que, con la incorporación del aditivo reductor de alto rango, el efecto en las propiedades del concreto en estado endurecido fue: la resistencia a compresión aumentó, para la relación agua/cemento de 0.45 se obtuvo una resistencia a 28 días de 335.85 kg/cm² para el concreto patrón y con aditivo fue de 703.46 kg/cm² que representa un aumento del 109%; y la resistencia a tracción también aumentó, para la relación agua/cemento de 0.45 se obtuvo una resistencia a 28 días de 36.76 kg/cm² para el concreto patrón y con aditivo fue de 58.79 kg/cm² que representa un aumento del 60%. El incremento de ambas resistencias supera ampliamente al producido por aditivos plastificantes de generaciones anteriores, valores que son presentados dentro de la sección de antecedentes.

Abstract

Currently, due to factors such as the rapid growth of cities or the constant advancement of technology, large structures are required and since reinforced concrete is the most used construction material globally, it needs to be able to withstand greater stresses.

Due to the above, concrete structures are designed that increasingly have a greater amount of steel, and concrete mixtures that are fluid must be used without this reducing their resistance after setting.

In the search to obtain fluid concrete mixtures that achieve high resistance, plasticizing additives were developed. However, with the passage of time, these are being improved, changing their components. Research has been carried out on the use of these additives, but because they are being modified, research must be carried out periodically on their effect on concrete. The latest generation of these additives was called "high-range reducing superplasticizers" and is made up of polycarboxylates.

Although some research has been carried out on the latest generation superplasticizer additive (high-range water reducer), most focused on studying slump and compressive strength.

Therefore, the objective of the research was to know the effects generated by the incorporation of a high-range water-reducing additive on various properties of medium- to high-strength concrete in its fresh state (slump, unit weight, fluidity, air content, exudation and setting time) and in its hardened state (tensile strength and compression strength). All tests were carried out in the Materials Testing Laboratory (LEM) of the National University of Engineering.

The research carried out was experimental, comparative level and was developed under an inductive method.

In the present investigation, fine aggregate from the Trapiche quarry and coarse aggregate from the UNICON quarry were used.

Prior to concrete production, tests were carried out on the fine, coarse and aggregate aggregates (global aggregate) to find the optimal proportion between them. After which, tests were carried out on the concrete in a fresh and hardened state, working with 12 mix designs (3 with standard concrete and 9 with additive); These designs were made looking for a settlement of 6" to 7". Water/cement ratios

of 0.45, 0.50, 0.55 were used; and then for each water/cement ratio of the standard concrete, additive dosages of 0.85%, 1.00% and 1.25% of the weight of cement were used.

It was concluded that, with the incorporation of the high-range reducing additive, the effect on the properties of the concrete in the fresh state was: the unit weight increased slightly; the fluidity increased, but for a dose of 1.25% it decreased, so there would be a point at which at a higher dosage, the fluidity would stop increasing; the air content increased, but this increase did not have a significant impact on the compressive strength; exudation increased on average by 90%, which could help reduce cracking of some concrete elements; and both initial and final setting time increased on average by 20%, which would be beneficial for structures in warm climates.

It was also concluded that, with the incorporation of the high-range reducing additive, the effect on the properties of the concrete in the hardened state was: the compressive strength increased, for the water/cement ratio of 0.45, a 28-day resistance of 335.85 kg/cm² was obtained for the pattern concrete and with additive was 703.46 kg/cm², which represents an increase of 109%; and the tensile strength also increased, for the water/cement ratio of 0.45, a 28-day resistance of 36.76 kg/cm² was obtained for the pattern concrete and with additive it was 58.79 kg/cm², which represents an increase of 60%. The increase in both resistances far exceeds that produced by plasticizing additives from previous generations, values that are presented in the background section.

Prólogo

La industria de la construcción viene elaborando, desde hace varios años atrás, miles de metros cúbicos de concreto adicionando productos químicos denominados aditivos, los cuales se encuentran en diferentes presentaciones como polvo, líquidos, pastas, etc.

En la actualidad gracias a los resultados favorables que se ha obtenido en proyectos de gran magnitud y en pequeñas obras a lo largo del país, considerando las diversas condiciones climáticas y la complejidad de cada proyecto en su ejecución, se presenta el aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación).

Dentro del país, se encuentran condiciones especiales en lo que respecta a climas, suelos y materiales, que afectan directamente las propiedades del concreto, como su resistencia, manejabilidad y durabilidad. Además, factores adicionales como las consideraciones económicas y los plazos de ejecución de la obra hacen necesario el uso de aditivos para contrarrestar estas condiciones desfavorables y lograr un concreto de calidad.

Se observó que el concreto de mediana a alta resistencia modificó ciertas propiedades. La adición de aditivos disminuyó la exudación, redujo la cantidad de agua necesaria y mejoró la resistencia a la compresión.

Los resultados de esta investigación están destinados a proporcionar orientación a los profesionales de la construcción, teniendo en cuenta las variables que influyen en la elaboración del concreto, como las propiedades de los agregados, las condiciones climáticas, la temperatura en la zona y el acceso al lugar, entre otros aspectos.

ASESOR

Lista de tablas

Tabla 1: Resistencias a compresión – Investigación 01.	25
Tabla 2: Resistencias a compresión - Investigación 02 - Mezclas H-25.	26
Tabla 3: Resistencias a compresión - Investigación 02 - Mezclas H-30.	26
Tabla 4: Resistencias a compresión – Investigación 03.	26
Tabla 5: Resistencias a compresión – Investigación 04.	27
Tabla 6: Limites granulométricos del agregado fino.	37
Tabla 7: Limites granulométricos del agregado grueso.	38
Tabla 8: Capacidad de medida del recipiente según TMN.	40
Tabla 9: Peso mínimo de la muestra de ensayo (NTP 400.021:2020).	44
Tabla 10: Características físicas del cemento sol tipo I.	48
Tabla 11: Propiedades físicas del agregado fino.	49
Tabla 12: Granulometría del agregado fino.	50
Tabla 13: Propiedades físicas del agregado grueso.	51
Tabla 14: Granulometría del agregado grueso.	51
Tabla 15: Resultados de ensayo de compacidad para el agregado global.	53
Tabla 16: Granulometría del agregado global.	54
Tabla 17: Diseño de mezcla para 215 litros de agua.	60
Tabla 18: Diseño de mezcla para 225 litros de agua.	60
Tabla 19: Diseño de mezcla para 235 litros de agua.	61
Tabla 20: Agua vs Asentamiento.	61
Tabla 21: Diseño de mezcla con arena/piedra = 46.16% /53.84%.	62
Tabla 22: Diseño de mezcla con arena/piedra = 49.16% /50.84%.	63
Tabla 23: Diseño de mezcla con arena/piedra = 52.16% /47.84%.	63
Tabla 24: Resultados de ensayo de compresión axial a los 7 días.	63
Tabla 25: Propiedades de los agregados para el diseño.	66
Tabla 26: Diseño de concreto patrón $a/c = 0.45$	66

Tabla 27: Diseño de concreto patrón $a/c = 0.50$	67
Tabla 28: Diseño de concreto patrón $a/c = 0.55$	67
Tabla 29: Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 0.85%.....	68
Tabla 30: Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 1.00%.....	69
Tabla 31: Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 1.25%.....	69
Tabla 32: Diseño de concreto con $a/c = 0.50$ y aditivo al 0.85%.....	70
Tabla 33: Diseño de concreto con $a/c = 0.50$ y aditivo al 1.00%.....	70
Tabla 34: Diseño de concreto con $a/c = 0.50$ y aditivo al 1.25%.....	71
Tabla 35: Diseño de concreto con $a/c = 0.55$ y aditivo al 0.85%.....	71
Tabla 36: Diseño de concreto con $a/c = 0.55$ y aditivo al 1.00%.....	72
Tabla 37: Diseño de concreto con $a/c = 0.55$ y aditivo al 1.25%.....	72
Tabla 38: Resultado de la reducción de agua para $a/c = 0.45$	73
Tabla 39: Resultado de la reducción de agua para $a/c = 0.50$	73
Tabla 40: Resultado de la reducción de agua para $a/c = 0.55$	74
Tabla 41: Resultado de ensayos de asentamientos.	78
Tabla 42: Variación de asentamientos respecto al patrón ($a/c = 0.45$).	79
Tabla 43: Variación de asentamientos respecto al patrón ($a/c = 0.50$).	79
Tabla 44: Variación de asentamientos respecto al patrón ($a/c = 0.55$).	80
Tabla 45: Variación de pesos unitarios respecto al patrón ($a/c = 0.45$).....	82
Tabla 46: Variación de pesos unitarios respecto al patrón ($a/c = 0.50$).....	83
Tabla 47: Variación de pesos unitarios respecto al patrón ($a/c = 0.55$).....	84
Tabla 48: Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón ($a/c = 0.45$).	86
Tabla 49: Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón ($a/c = 0.50$).	87
Tabla 50: Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón ($a/c = 0.55$).	88
Tabla 51: Variación del contenido de aire respecto al patrón ($a/c = 0.45$).	90
Tabla 52: Variación del contenido de aire respecto al patrón ($a/c = 0.50$).	91
Tabla 53: Variación del contenido de aire respecto al patrón ($a/c = 0.55$).	91

Tabla 54: Variación de la exudación respecto al patrón ($a/c = 0.45$).	93
Tabla 55: Variación de la exudación respecto al patrón ($a/c = 0.50$).	94
Tabla 56: Variación de la exudación respecto al patrón ($a/c = 0.55$).	95
Tabla 57: Variación del tiempo de fragua respecto al patrón ($a/c = 0.45$).	97
Tabla 58: Variación del tiempo de fragua respecto al patrón ($a/c = 0.50$).	98
Tabla 59: Variación del tiempo de fragua respecto al patrón ($a/c = 0.55$).	99
Tabla 60: Resistencias a compresión axial a edades de 7, 14 y 28 días.	100
Tabla 61: Resistencia a la compresión a los 28 días.	102
Tabla 62: Variación porcentual de la resistencia a través de las edades.	103
Tabla 63: Resistencia a la tracción diametral y su variación porcentual.	106
Tabla 64: Asentamiento correspondientes a cada diseño.	110
Tabla 65: Peso unitario correspondientes a cada diseño.	111
Tabla 66: Fluidez correspondientes a cada diseño.	112
Tabla 67: Contenido de aire correspondientes a cada diseño.	113
Tabla 68: Exudación correspondientes a cada diseño.	113
Tabla 69: Tiempo de fragua inicial y final correspondientes a cada diseño.	114
Tabla 70: Modificaciones en la reducción de la relación agua/cemento.	118

Lista de gráficos

Gráfico 1: Granulometría del agregado fino.	50
Gráfico 2: Granulometría del agregado grueso.	52
Gráfico 3: Ensayo de compacidad del agregado global.	53
Gráfico 4: Ensayo de compacidad del agregado global.	55
Gráfico 5: Relación entre la cantidad de agua (l) y el asentamiento (pulg).....	61
Gráfico 6: Porcentaje de arena vs resistencia a la compresión (kg/cm ²).	64
Gráfico 7: Porcentaje de arena vs resistencia a la compresión – P.U.C.....	65
Gráfico 8: Cantidad de agua reducida por m ³ de concreto para a/c = 0.45.	73
Gráfico 9: Cantidad de agua reducida por m ³ de concreto para a/c = 0.50.	74
Gráfico 10: Cantidad de agua reducida por m ³ de concreto para a/c = 0.55.	75
Gráfico 11: Comparación de asentamientos para cada relación a/c.....	78
Gráfico 12: Asentamientos en pulgadas y porcentaje para a/c = 0.45.....	79
Gráfico 13: Asentamientos en pulgadas y porcentaje para a/c = 0.50.....	80
Gráfico 14: Asentamientos en pulgadas y porcentaje para a/c = 0.55.....	81
Gráfico 15: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.45.	83
Gráfico 16: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.50.	84
Gráfico 17: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.55.	85
Gráfico 18: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.45.	87
Gráfico 19: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.50.	88
Gráfico 20: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.55.	89
Gráfico 21: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.45.	91
Gráfico 22: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.50.	91
Gráfico 23: Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.55.	92
Gráfico 24: Representación del ensayo de exudación para a/c = 0.45.....	94
Gráfico 25: Representación del ensayo de exudación para a/c = 0.50.....	95

Gráfico 26: Representación del ensayo de exudación para $a/c = 0.55$	96
Gráfico 27: Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.45$. ..	98
Gráfico 28: Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.50$. ..	98
Gráfico 29: Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.55$. ..	99
Gráfico 30: Representación del ensayo a la compresión axial.	100
Gráfico 31: Resistencia a la compresión axial con $a/c = 0.45$	101
Gráfico 32: Resistencia a la compresión axial con $a/c = 0.50$	102
Gráfico 33: Resistencia a la compresión axial con $a/c = 0.55$	102
Gráfico 34: Análisis comparativo de resistencias a compresión a 28 días.....	103
Gráfico 35: Diferencia porcentual de la resistencia para la relación $a/c = 0.45$..	104
Gráfico 36: Diferencia porcentual de la resistencia para la relación $a/c = 0.50$..	105
Gráfico 37: Diferencia porcentual de la resistencia para la relación $a/c = 0.55$..	105
Gráfico 38: Diferencia porcentual de las resistencias a tracción.	107
Gráfico 39: Relación entre PUC del agregado global y porcentaje de arena...	109
Gráfico 40: Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.45.....	116
Gráfico 41: Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.50.....	116
Gráfico 42: Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.55.....	117

Lista de símbolos y siglas

a/c	:	Relación agua cemento
ACI	:	American Concrete Institute
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BASF	:	Badische Anilin und Soda Fabrik
C.H.	:	Contenido de Humedad
C.P.T.	:	Cemento Portland Tipo
D o Ø	:	Diámetro
DIN	:	Instituto Alemán de Normalización
DUO	:	Diseño Unitario de Obra
Ec o M.E.	:	Módulo Elástico
F'c	:	Resistencia por comprensión axial
LEM	:	Laboratorio de Ensayos y Materiales
Max	:	Máximo
MF	:	Módulo de Finura
NTP	:	Norma Técnica Peruana
P	:	Carga de rotura
P.C.	:	Peso de Cemento
Psss	:	Peso saturado superficialmente seco
PU	:	Peso Unitario
PUC	:	Peso Unitario Compactado
PUS	:	Peso Unitario Suelto
Q	:	Resistencia a la tracción
Rc	:	Resistencia a la compresión
TMN	:	Tamaño Máximo Nominal
TFI	:	Tiempo de Fragua Inicial
TFF	:	Tiempo de Fragua Final

°C	:	Grados Celsius
Δ	:	Variación

Capítulo I: Introducción

1.1 Generalidades

Dado que Perú es un país con alta actividad sísmica y una geografía diversa, debido a que está ubicado en el Cinturón de Fuego, los ingenieros deben adaptar la construcción de obras de concreto y realizar diseños adecuados para cada situación (Salazar, 2021).

El concreto es el material de construcción más utilizado a nivel global debido a múltiples ventajas, y es esencial que los profesionales de la construcción comprendan las propiedades de sus componentes para garantizar la producción de concreto de alta calidad en proyectos específicos (Jaimes et al., 2020).

El concreto, en su estado fresco, es moldeable y puede adaptarse a diversas formas, además de ofrecer una resistencia a la compresión significativa y una excelente capacidad de adherencia con otros materiales, como el acero, que a su vez tiene una alta resistencia a la tracción. Por lo tanto, el concreto y el acero se complementan de manera indispensable (Jaimes et al., 2020).

Las propiedades únicas del concreto hacen que sea un material fundamental que tiene una amplia gama de aplicaciones en la construcción de distintas estructuras como edificios, puentes, muros, pavimentos, presas, tanques, entre otros (Zavala, 2023).

Los aditivos superplastificantes tuvieron su origen con los aditivos acelerantes (alrededor de 1885), los cuales dieron lugar a los plastificantes, que se pueden clasificar en lignosulfonatos y gluconatos (alrededor de 1932 y 1936 respectivamente). A través de los avances tecnológicos que tuvieron como origen adiciones minerales a las mezclas, nacieron los superplastificantes, que se pueden clasificar en naftalensulfonados, melaminasulfonados y polímeros de vinilo (alrededor de 1965, 1970 y 1987 respectivamente). En los últimos años, se desarrolló una nueva generación de superplastificantes, denominada “superplastificantes de ultra alto poder o reductor de alto rango”, basada en los geopolímeros y que están conformados por policarboxilato-eter (Canchaya, 2021).

La importancia de discriminar entre las diferentes generaciones de aditivos plastificantes (plastificantes, superplastificantes y los superplastificantes de ultra alto poder) radica en que los que poseen mayor tecnología, que son los de fabricación más reciente, presentan mayores beneficios para las mezclas de concreto. Como principal característica se tiene que, los primeros permitían una

reducción del agua de mezcla de entre 5% y 8%, los segundos permitían una reducción de entre 6% y 12%, y los terceros permiten una reducción que va desde 12% hasta 40%; de donde se deduce que el efecto que se produjo en la reducción de la cantidad de agua de mezcla (que puede aumentar drásticamente la resistencia a compresión) es de gran relevancia (Canchaya, 2021).

De lo anterior, se pudo deducir que, con el paso del tiempo, se han venido realizando investigaciones acerca de los aditivos superplastificantes; sin embargo, periódicamente, se hace necesario actualizar la información que se tiene acerca de estos, debido a los avances tecnológicos que modifican sus efectos.

Es por ello que, en esta investigación se plantea estudiar los efectos del aditivo superplastificante de última generación (de alto rango, que tiene como base a los policarboxilatos) en concretos de mediana a alta resistencia. A conveniencia, se seleccionó como aditivo superplastificante a MasterGlenium SCC 3800, por la disponibilidad del producto.

1.2 Descripción del Problema de Investigación

En el Perú, al igual que en muchos otros países, se enfrentan problemáticas en la construcción de estructuras de concreto. Uno de los problemas recurrentes es la fisuración y la falta de durabilidad de las estructuras. Estos problemas pueden atribuirse a diversos factores, como las condiciones climáticas, la calidad de los materiales utilizados y la falta de control en las propiedades del concreto (Orozco et al., 2018).

La fisuración es un fenómeno común tanto en la pasta de cemento en el mortero como en el concreto. Se ha observado que muchas estructuras de concreto están expuestas al fenómeno de contracción, lo que genera fallas de fisuración y, posteriormente, filtración de agua. Estas fisuras comprometen la integridad de la estructura y pueden resultar en costos elevados de mantenimiento y/o reparación (IMCYC, 2017).

Para abordar esta problemática, se han implementado soluciones como el uso de aditivos superplastificantes en la mezcla de concreto. Estos aditivos son sustancias químicas que se añaden al concreto para mejorar su trabajabilidad, y facilitar su colocación y compactación. Los aditivos superplastificantes reducen la viscosidad del concreto, permitiendo una mejor distribución y evitando segregaciones. Esto mejora la adherencia entre el concreto y las armaduras, lo que resulta en una mayor resistencia y durabilidad de la estructura (Silva, 2022).

Aparte de mejorar la trabajabilidad, los aditivos superplastificantes también reducen la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua puede debilitar el concreto y aumentar la probabilidad de fisuración. Al reducir la cantidad de agua, se obtiene un concreto más compacto y resistente, previniendo la formación de fisuras y garantiza una mayor vida útil de las estructuras (Silva, 2022).

Es importante tener en cuenta que el uso de aditivos superplastificantes debe realizarse siguiendo las recomendaciones y dosificaciones establecidas por los fabricantes, y su aplicación debe ser supervisada por profesionales capacitados en la tecnología del concreto. Además, es fundamental cumplir con las normativas y estándares de construcción vigentes para garantizar la calidad y seguridad de las estructuras (Cárdenas y Cárdenas, 2022).

Además, los aditivos superplastificantes han ido mejorado según sus generaciones, siendo la última de estas (que es la actual) la que tiene como base a los policarboxilatos. Haciendo que sean necesarios estudios de los efectos de esta nueva generación de aditivos, para establecer de forma precisa su comportamiento frente a distintas propiedades del concreto (Canchaya, 2021).

Por lo anterior, se propuso como principal interrogante o problema de la presente investigación lo siguiente: ¿Cómo impacta la incorporación del aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) en las propiedades y características del concreto?

1.3 Problemas del Estudio

1.3.1 Problema General

- ¿Cómo impacta la incorporación del aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) en las propiedades y características del concreto?

1.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cuál sería el diseño del concreto sin aditivo y con aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) en las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55?
- ¿Cuáles son los efectos del aditivo en el asentamiento, peso unitario, fluidez, contenido de aire, exudación y tiempo de fragua del concreto patrón en estado fresco?

- ¿Cuáles son los efectos del aditivo en la resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral del concreto patrón en estado endurecido?

1.4 Objetivos del Estudio

1.4.1 Objetivo General

- Analizar cómo se modifican las propiedades del concreto en los estados frescos y endurecido al utilizar el aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el concreto sin aditivo y con aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55.
- Analizar las propiedades del concreto en estado fresco con aditivo y sin aditivo (Asentamiento, Peso Unitario, Fluidéz, Contenido de aire, Exudación y Tiempo de fragua).
- Analizar las propiedades del concreto en estado endurecido con aditivo y sin aditivo (Resistencia a la Compresión y tracción por compresión Diametral).

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

- El comportamiento de las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia mejorará a través del uso del aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) esperando con ello lograr la reducción del porcentaje de agua de 5% a 40% de su volumen inicial.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- La presencia del aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) en el concreto, con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, resultara en diseños que superan en resistencia y durabilidad al concreto patrón.
- La inclusión del aditivo reductor de agua impactará positivamente en el asentamiento, peso unitario, fluidéz, contenido de aire, exudación y tiempo

de fragua del concreto en estado fresco, mejorando su trabajabilidad y manejabilidad.

- La resistencia a la compresión y la tracción por compresión diametral del concreto endurecido con el aditivo será mayor en comparación con el concreto patrón, indicando una mejora sustancial en la resistencia estructural.

1.6 Marco Metodológico

1.6.1 Tipo de Investigación

Hernández, R. (2014) definió que, las investigaciones de tipo experimental, son aquellas donde el investigador tiene como objetivo conocer los efectos que son causados debido a la manipulación de alguna variable, debiendo cumplir con ciertos requisitos al realizar el experimento.

Esta investigación fue de tipo experimental porque tuvo como objetivo conocer los efectos en algunas de las propiedades del concreto al incorporar aditivo reductor de alto rango en la mezcla de concreto.

1.6.2 Nivel de Investigación

Hernández, R. (2014) explicó que, en una investigación de nivel comparativo, se realiza una comparación entre mediciones distintas realizadas en grupos de control donde se manipuló alguna variable, con la finalidad de conocer si se produjo algún efecto.

Esta investigación fue de nivel comparativo porque realizó comparaciones entre la mezcla de concreto sin aditivo y las mezclas de concreto en las que se incorporaron el aditivo reductor de agua de alto rango.

1.6.3 Método de Investigación

Hernández, R. (2014) explicó que, el método inductivo va de lo particular a lo general, y tiene como proceso realizar un experimento varias veces, analizar los datos obtenidos y generar conclusiones.

Esta investigación se realizó bajo un método inductivo debido a que se realizaron cierta cantidad de distintos ensayos al concreto (en estado fresco y en estado endurecido), para posteriormente analizar los resultados obtenidos y poder generar conclusiones acerca del efecto de la incorporación del aditivo reductor de agua de alto rango.

1.6.4 Población y Muestra

Población

Gallardo, E. (2017) definió a la población como un conjunto de elementos con características comunes, las cuales serán de importancia para generar las conclusiones de la investigación.

Esta investigación tuvo como población a las mezclas de concreto, teniendo como principal característica que pertenecen a concreto de una resistencia entre media y alta.

Muestra

Gallardo, E. (2017) definió a la muestra como el subconjunto de la población que, por ciertas características similares, permite generalizar resultados al resto de la población objetivo con algún margen de error.

En esta investigación se tuvo que las características comunes de las mezclas de concreto fueron que debieron contar con asentamiento de entre 6 y 7 pulgadas, y tener relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55.

1.7 Antecedentes Investigativos

1.7.1 Antecedentes Internacionales

Hernández, C. (2005), en su tesis "Plastificantes Para El Hormigón de alta resistencia", estudió el efecto de los aditivos (principalmente a los plastificantes) en las mezclas de concreto, usó la recopilación de información para obtener la data para su investigación. Indicó que un aditivo superplastificante tiene como principal efecto una reducción significativa de la cantidad de agua de mezclado, a la par que mejora la trabajabilidad de la mezcla. También indicó que estos aditivos se pueden clasificar de acuerdo a la disminución de cantidad de agua de mezclado que logran en bajo rango (hasta 5% de reducción), medio rango (hasta 15% de reducción) y alto rango (hasta 40% de reducción); señalando además que también se podían clasificar de acuerdo a la tecnología empleada en su producción en plastificantes, superplastificantes de primera generación y superplastificantes de segunda generación. Concluyó que la relación a/c es de vital importancia para diseñar una mezcla de concreto ya que mientras se asuma un menor valor se esperará una mayor resistencia a compresión, la utilización de aditivos plastificantes otorga mayor resistencia al concreto, llegando a aumentar en más del 50% a una edad de 28 días.

Oliva, C. (2008), en su tesis "Influencia de los Superplastificantes en la Trabajabilidad y Resistencia de los Hormigones Grado H-25 y H-30", determinó la variación de la resistencia del concreto, a edades de 3, 7, 14 y 28 días, al agregar aditivo superplastificante Sika Viscocrete 4000 CL en dosificaciones de 40.8, 81.6, 122.4, 163.2 y 204.0 gramos para el concreto H-25, y de 45.2, 90.4, 135.6, 180.8 y 226.0 gramos para el concreto H-30 (que representaron 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8% y 2.0% del peso del cemento). Las relaciones a/c de las mezclas fueron 0.45 y 0.50, y las resistencias de diseño de las mezclas H-25 y H-30 fueron 290 kgf/cm² y 340 kgf/cm². Concluyó que, a mayor dosificación del aditivo, se obtuvo mayor asentamiento. También concluyó que las máximas resistencias se obtuvieron con una dosificación de 1.6% del peso del cemento para ambas mezclas, también obtuvo que para la dosificación de 2% la resistencia era incluso menor que la obtenida por las mezclas patrones.

Cárdenas, M. y Cárdenas, C. (2022), en su tesis "Análisis comparativo de la resistencia a compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa Concretos Chimborazo de Quito", tuvo como objetivo comparar las resistencias a compresión con dos tipos de aditivos superplastificantes, los primeros a base de naftalenos y los segundos a base de policarboxilatos, que corresponden a la primera y última generación respectivamente. Para ello, elaboraron muestras cilíndricas de concreto de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Las mezclas fueron elaboradas con cemento tipo HE, arena de San Antonio y piedra de Pintag, se hicieron mezclas con 05 distintos contenidos de cemento, cada uno con una dosificación de aditivo. Para un contenido de cemento de 250 kg, 275 kg, 300 kg, 325 kg y 350 kg se usaron dosificaciones de 0.80%, 0.70%, 0.60%, 0.55% y 0.50% de cada tipo de aditivo, dando un total de 10 tipos de mezclas. Obtuvo que, para contenidos de cemento de 250 kg, 275 kg, 300 kg, 325 kg y 350 kg, las resistencias de los concretos patrones fueron de 134.0 kgf/cm², 183.3 kgf/cm², 210.4 kgf/cm², 256.9 kgf/cm² y 299.0 kgf/cm², para las mezclas con naftaleno fueron de 171.9 kgf/cm², 210.7 kgf/cm², 241.1 kgf/cm², 283.6 kgf/cm² y 330.4 kgf/cm², y para las mezclas con policarboxilato fueron de 208.0 kgf/cm², 253.7 kgf/cm², 300.2 kgf/cm², 362.2 kgf/cm² y 417.5 kgf/cm². Concluyó que usando mismas dosificaciones de aditivos de naftaleno y policarboxilato (cumpliendo con la dosificación indicada por los fabricantes), fueron las mezclas con aditivo de policarboxilato las que produjeron mayor aumento en la resistencia del concreto obtenido, representando un aumento de casi el doble del producido por el aditivo de naftaleno.

1.7.2 Antecedentes Nacionales

Palomares (2009), en su tesis “Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango superplastificante cemento portland tipo I”, usó aditivo superplastificante en dosificaciones de 0.75%, 0.93% y 1.12% respecto al peso de cemento para concreto con relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50. Respecto al concreto en estado fresco, concluyó que no hubo variaciones considerables en el peso unitario, el contenido de aire aumentó y la exudación disminuyó. Respecto a la resistencia a compresión, concluyó que aumentó conforme aumentaba la dosificación del aditivo, obteniendo el 95%, 105% y 109%; 121%, 124% y 126%; y 107%, 116% y 128% respecto a la resistencia patrón para las relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 respectivamente. Respecto a la resistencia a tracción, concluyó que aumentó conforme aumentaba la dosificación del aditivo, obteniendo el 101%, 103% y 116%; 100%, 107% y 109%; y 103%, 108% y 112% respecto a la resistencia patrón para las relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 respectivamente. Respecto a la resistencia a flexión (del ensayo del módulo elástico), concluyó que aumentó conforme aumentaba la dosificación del aditivo, obteniendo el 114%, 116% y 107%; 120%, 119% y 117%; y 123%, 126% y 123% respecto a la resistencia patrón para las relaciones a/c de 0.40, 0.45 y 0.50 respectivamente.

Loayza, V. (2012), en su tesis “Estudio de las propiedades del concreto y la variabilidad de su resistencia usando aditivo superplastificante y cemento portland tipo I”, estudió el comportamiento del concreto al añadir el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3330 en dosificaciones de 0.5%, 1.0% y 2% del peso del cemento; las relaciones a/c de las mezclas que realizó fueron de 0.40, 0.45 y 0.50. Para el concreto en estado fresco, obtuvo que la adición de aditivo redujo la cantidad de agua de mezclado hasta en 30% manteniendo el asentamiento de la mezcla patrón (de entre 3” y 4”), además que el tiempo de fraguado disminuyó hasta en 23%. Concluyó que, a mayor dosificación del aditivo, se obtuvieron mayores resistencias (dosificación de 2% del peso del cemento); donde obtuvo que las resistencias a compresión y tracción a 28 días se incrementaron en 33% y 29% respectivamente para las 3 relaciones a/c.

Palomino, M. (2017), en su tesis “Estudio del concreto con cemento Portland Tipo IP y aditivo superplastificante”, se enfocó en estudiar la disminución de la contracción del concreto elaborado con cemento portland tipo IP mediante la adición de aditivo superplastificante Chema Súper Plast. Usó dosificaciones del

aditivo de 0.5%, 1.0% y 2% del peso del cemento. Obtuvo que el concreto, a la edad de 07 días, presentó en el concreto patrón 02 fisuras superficiales y 02 fisuras laterales, y que para el concreto con una adición de 0.5%, 1.0% y 2.0% de aditivo obtuvo 01 y 02, 01 y 01, 00 y 00 fisuras superficiales y fisuras laterales respectivamente. También obtuvo que la adición de aditivo incrementó la resistencia a compresión hasta en un máximo de 28% (con una dosificación de 1.0% de aditivo). Concluyó que con una dosis adecuada del aditivo se puede reducir el cambio de la longitud del concreto por contracción, lo que conllevaría a la formación de un menor número de fisuras; la dosis recomendada fue de 2.0%.

Sáenz, R. (2019), en su tesis "Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para $a/c=0.60$ ", tuvo como objetivo disminuir la fisuración del concreto en estado plástico mediante el uso de macrofibras de polipropileno, para ello usó cemento portland tipo I y macrofibra tipo Chema Fibra Ultrafina. Las dosificaciones de macrofibra fueron de 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³ de volumen de concreto. Obtuvo que la resistencia a compresión a 28 días aumentó conforme mayor era la dosificación de la macrofibra, aumentando en 18.7%, 23.3% y 18.8% respectivamente. También obtuvo que la resistencia a tracción a 28 días no dependía de la dosificación de la macrofibra, puesto que obtuvo 117.0%, 90.1% y 106.0% conforme se adicionó la macrofibra. Respecto a los ensayos de contracción restringida del concreto, obtuvo que la cantidad de fisuras superficiales y fisuras laterales fueron de 10 y 13, 8 y 9, 7 y 12, y 3 y 3 para las dosificaciones de macrofibra de 0 g/m³, 200 g/m³, 300 g/m³ y 400 g/m³.

1.7.3 Análisis de los Antecedentes

Se realizó una comparación de los resultados que obtuvieron en investigaciones pasadas, enfocándose en la dosificación usada de aditivo plastificante y su efecto en la resistencia a compresión a 28 días.

Hernández, C. (2005), en su tesis "Plastificantes Para El Hormigón de alta resistencia", realizó su investigación usando plastificantes (1ra generación) y obtuvo los resultados mostrados en la tabla 1.

Tabla 1
Resistencias a compresión – Investigación 01.

Dosificación (%)	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	Resistencia a compresión (%)
0.00	330.00	100%
0.40	420.00	127%
0.65	480.00	145%
0.80	580.00	176%

Fuente: Adaptado de Hernández (2005).

Oliva, C. (2008), en su tesis "Influencia de los Superplastificantes en la Trabajabilidad y Resistencia de los Hormigones Grado H-25 y H-30", para sus diseños de mezcla H-25 y H-30, con aditivo superplastificante (2da generación) obtuvo los resultados mostrados en las tablas 2 y 3 respectivamente.

Tabla 2

Resistencias a compresión - Investigación 02 - Mezclas H-25.

Dosificación (%)	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	Resistencia a compresión (%)
0.0	172.51	100%
1.2	176.55	102%
1.4	190.32	110%
1.6	196.79	114%
1.8	192.73	112%
2.0	142.73	83%

Fuente: Adaptado de Oliva (2008).

Tabla 3

Resistencias a compresión - Investigación 02 - Mezclas H-30.

Dosificación (%)	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	Resistencia a compresión (%)
0.0	232.71	100%
1.2	233.77	100%
1.4	240.16	103%
1.6	262.69	113%
1.8	227.33	98%
2.0	132.75	57%

Fuente: Adaptado de Oliva (2008).

Palomares (2009), en su tesis "Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango superplastificante cemento portland tipo I", realizó su investigación usando superplastificante (2da generación) para la elaboración de mezclas de 03 relaciones agua cemento, obtuvo los resultados mostrados en la tabla 4.

Tabla 4

Resistencias a compresión – Investigación 03.

Relación a/c	Dosificación (%)	0.00	0.75	0.93	1.12
a/c = 0.50	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	403	430	469	515
	Resistencia a compresión (%)	100%	107%	116%	128%
a/c = 0.45	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	442	535	546	558
	Resistencia a compresión (%)	100%	121%	124%	126%
a/c = 0.40	Resistencia a compresión (kgf/cm ²)	514	490	541	562
	Resistencia a compresión (%)	100%	95%	105%	109%

Fuente: Adaptado de Palomares (2009).

Cárdenas, M. y Cárdenas, C. (2022), en su tesis “Análisis comparativo de la resistencia a compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa Concretos Chimborazo de Quito”, realizaron su investigación usando aditivos a base de naftaleno (2da generación) y a base de policarboxilatos (3ra generación), obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 5.

Tabla 5

Resistencias a compresión – Investigación 04.

Resistencia a compresión del concreto patrón (kgf/cm ²)	134.0	183.3	210.4	256.9	299.0
Dosificación (%)	0.50	0.55	0.60	0.70	0.80
Resistencia a compresión con naftaleno (kgf/cm ²)	171.9	210.7	241.1	283.6	330.4
Porcentaje respecto al patrón (%)	128%	115%	115%	110%	111%
Resistencia a compresión con policarboxilato (kgf/cm ²)	208	253.7	300.2	362.2	417.5
Porcentaje respecto al patrón (%)	155%	138%	143%	141%	140%

Fuente: Adaptado de Cárdenas y Cárdenas (2022).

De lo anterior, se puede distinguir que el aditivo plastificante (sin importar la generación a la que pertenezca) produce un aumento de la resistencia a compresión; pero aún si se usan aditivos de la misma generación, el incremento de la resistencia producido es muy variable. Un detalle importante es que en todas las investigaciones se usaron distintos aditivos (de distintas marcas o empresas), por lo que este puede ser un factor determinante de la calidad del aditivo.

De acuerdo con las investigaciones presentadas, comparando los resultados de Hernández (2005) y los otros investigadores, se ha obtenido que aditivos plastificantes de 1ra generación pueden generar mayores incrementos de resistencia que aditivos plastificantes de generaciones posteriores. Sin embargo, de las recomendaciones que dan los investigadores, se puede deducir que la mejora que los aditivos plastificantes han tenido en cada generación no se centra únicamente en el incremento de resistencia, sino también en la estabilidad de la mezcla, logrando que estas tengan altos valores de asentamiento y fluidez sin llegar a la segregación.

Entonces, la importancia del porqué se debe continuar con las investigaciones acerca de los aditivos plastificantes viene dado porque los efectos varían de acuerdo a los avances tecnológicos o generaciones de aditivos, que modifican el grado con el que generan sus efectos en el concreto, y por las distintas calidades que definen distintas dosificaciones.

En relación con los antecedentes anteriores, esta tesis planteó estudiar los efectos que produce esta tercera generación de aditivos superplastificantes con base en policarboxilatos. Seleccionando para ello uno de estos aditivos y estableciendo como principal interrogante: ¿Cómo impacta la incorporación del aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) en las propiedades y características del concreto?

Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual

2.1 Concreto

2.1.1 Definición

El concreto es un material de construcción compuesto por una mezcla de cemento, agregados (como arena y grava) y agua. Esta mezcla se endurece con el tiempo para formar una sustancia sólida y resistente. El concreto se utiliza ampliamente en la industria de la construcción debido a su versatilidad y durabilidad. Es utilizado para la construcción de estructuras como edificios, puentes, carreteras y viviendas, entre otros. El concreto ofrece una combinación de resistencia a la compresión y durabilidad, lo que lo convierte en un material de elección para una amplia variedad de aplicaciones constructivas.

El cemento reacciona químicamente con el agua uniendo las partículas de los agregados, constituyendo una mezcla heterogénea. En algunas ocasiones se adicionan ciertas sustancias llamados aditivos para mejorar o modificar las propiedades del concreto (Abanto, 2013).

$$\text{Concreto} = \text{Cemento Portland} + \text{Agregados} + \text{Aire} + \text{Agua}$$

2.1.2 Características

Según Mayhuay (2021), las características que tiene este importante material, lo cual hace que sea un material de uso universal son:

- Elevada resistencia a fuerzas de compresión.
- Escasa capacidad para soportar fuerzas de estiramiento.
- Elevada resistencia para soportar altas temperaturas.
- Impermeabilidad, es decir, la dificultad a la penetración del agua u otro líquido.
- Consistencia, es decir, el grado de fluidez de la mezcla para que le sea fácil desplazarse dentro del encofrado, sin importar la forma que tenga el encofrado.
- El concreto, con el pasar del tiempo presenta deterioros debido a diversos factores, como por ejemplo el medio que lo rodea (calor, humedad, heladas, etc.).

- El concreto es un material de baja resistencia a la tracción. Esto hace difícil su uso en elementos estructurales que están sometidos a tracción, como por ejemplo en tirantes y vigas, pero para superar estas limitaciones del concreto se usa en combinación con el acero (alta resistencia a la tracción), y se obtiene concreto armado.
- Para aprovechar al máximo las propiedades del concreto se debe preparar con supervisión de una persona experimentada quien garantice su control de calidad.

2.1.3 Tipos de concreto

Existe varios tipos de concreto según su aplicación y requerimientos como, Concreto simple, Concreto ciclópeo, Concreto estructural, Concreto armado, Concreto premezclado, Concreto bombeado, Concretos livianos, Concretos pesados., Concretos normales, Concreto prefabricado.

2.1.4 Componentes del concreto

Cemento

Definición

Mayhuay (2021) señaló que, el cemento es un material de construcción utilizado ampliamente en la industria de la construcción. Es una sustancia en polvo que, al mezclarse con agua, se convierte en una pasta que puede endurecerse y adquirir propiedades de resistencia y durabilidad.

El cemento es el componente principal del concreto, actuando como un aglomerante que une los agregados (arena, grava) y otros materiales en una masa sólida. Es producido mediante la trituración y calcinación de materias primas como la piedra caliza, la arcilla y el yeso.

La principal propiedad del cemento es su capacidad de fraguar y endurecer cuando se mezcla con agua. Este proceso, conocido como hidratación, involucra reacciones químicas que forman compuestos sólidos, fortaleciendo la estructura del material.

El cemento se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, desde la construcción de cimientos y estructuras de edificios hasta la fabricación de elementos prefabricados, como bloques y adoquines. Además, se utiliza en la

construcción de infraestructuras, como puentes, carreteras y represas, gracias a su resistencia y capacidad para soportar cargas pesadas.

Cemento Portland = Clinker Portland + Yeso

Fabricación del cemento

Según Abanto (2013), el punto de partida del proceso de fabricación, lo constituye la selección y explotación de las materias primas para su procesamiento consiguiente.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

- Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Su fórmula abreviada es C3S.
- Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$). Su fórmula abreviada es C2S.
- Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$). Su fórmula abreviada es C3A.
- Aluminio ferrita tricálcica ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Su fórmula abreviada es C4AF.

Cemento Portland

Según Tesillo (2004), el cemento Portland es un tipo de cemento utilizado en la construcción que se obtiene a partir de la molienda de clinker. Es reconocido por su rápida fraguado y alta resistencia, lo que lo hace ideal para diversas aplicaciones. Su capacidad para desarrollar resistencia a largo plazo contribuye a la durabilidad de las estructuras.

El cemento Portland es versátil y puede adaptarse a diferentes condiciones climáticas y entornos. Además, es compatible con una variedad de agregados y aditivos. En resumen, el cemento Portland es un material esencial en la construcción, ofreciendo rapidez en su fraguado, alta resistencia y durabilidad, y siendo ampliamente utilizado en la formación de estructuras sólidas y duraderas.

Agregados

Definición

Según Tesillo (2004), los agregados son materiales granulares utilizados en la construcción que se mezclan con cemento y agua para formar el concreto. Estos materiales pueden ser arena, grava, piedra triturada u otros tipos de

partículas inorgánicas. Los agregados desempeñan un papel crucial en el concreto, ya que representan aproximadamente el 60-80% de su volumen total.

Los agregados proporcionan resistencia estructural al concreto, ya que son responsables de la capacidad de soportar cargas y distribuir las de manera eficiente. Además, contribuyen a la trabajabilidad del concreto, afectando su consistencia y facilitando su colocación y compactación durante la construcción.

Existen diferentes tamaños y tipos de agregados, y su selección depende de las características y requisitos específicos de cada proyecto. La calidad de los agregados es fundamental, ya que influye en las propiedades físicas y mecánicas del concreto final, como la resistencia, la durabilidad y la densidad.

Clasificación de los agregados

Los agregados utilizados en la construcción se dividen en dos categorías principales: agregados naturales y agregados artificiales. Los agregados naturales se extraen de fuentes naturales como ríos, glaciares y canteras de rocas, mientras que los agregados artificiales se producen mediante procesos industriales como la expansión de arcilla o la obtención de escorias de alto horno. En el contexto del concreto, estos agregados se pueden clasificar en:

Agregado fino: Se refiere al material que atraviesa la malla con una apertura de 3/8" (9.5 mm) y satisface las restricciones indicadas en la NTP 400.037:2021 o en ASTM C-33.

Agregado grueso: Se trata de los fragmentos de roca que quedan retenidos en el tamiz N°4, con una apertura de 4.75mm. Estos agregados se originan a partir de la descomposición de las rocas y se pueden subdividir en piedra triturada y grava, siempre y cuando cumplan con las restricciones especificadas en la NTP 400.037:2021 o en ASTM C-33.

Agregado de relleno o filler: Hace referencia a un material de granulometría fina, como el polvo de piedra o el polvo de cemento, que se emplea con el propósito de ocupar los huecos entre los agregados y potenciar la compacidad del concreto. Esta práctica contribuye a disminuir la porosidad y a elevar la durabilidad del material.

Agregado ligero: Un material utilizado en la construcción de concreto, con baja densidad, como perlita o arcilla expandida, que reduce el peso de la estructura y mejora el aislamiento térmico.

Agregado reciclado: Agregado proveniente de la demolición de estructuras o del reciclaje, que se emplea como una opción ambiental responsable en lugar de los agregados naturales, siempre y cuando satisfaga los estándares de calidad y resistencia requeridos.

Al considerar la granulometría, calidad, forma y proporciones adecuadas de los diferentes tipos de agregados en el diseño de la mezcla de concreto, se pueden obtener propiedades deseadas, como resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Aditivos

Definición

Según Mayhuay (2021), los aditivos son sustancias químicas utilizadas en la industria de la construcción para modificar y mejorar las propiedades del concreto. Estas sustancias se añaden a la mezcla de concreto en cantidades controladas con el objetivo de obtener características específicas que no se lograrían fácilmente con los materiales tradicionales.

Los aditivos pueden desempeñar diferentes funciones en el concreto, como mejorar la trabajabilidad, retardar o acelerar el fraguado, controlar la resistencia, reducir la permeabilidad, mejorar la adherencia y proteger contra la corrosión.

Existen distintos tipos de aditivos utilizados en el concreto, como los superplastificantes, que mejoran la fluidez y la capacidad de colocación del concreto; los acelerantes, que aceleran el tiempo de fraguado; los retardantes, que retrasan el fraguado para permitir un mayor tiempo de trabajo; los impermeabilizantes, que reducen la permeabilidad del concreto; y los aditivos antioxidantes, que protegen contra la corrosión de las armaduras.

Los aditivos son herramientas valiosas en la construcción, ya que permiten adaptar las propiedades del concreto a los requisitos específicos de cada proyecto, mejorando su desempeño, durabilidad y eficiencia. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante y las normativas correspondientes al utilizar aditivos, para garantizar su correcta dosificación y aplicación en la mezcla de concreto.

Condiciones de empleo

Las condiciones de empleo se refieren a las circunstancias y parámetros que deben tenerse en cuenta al utilizar aditivos en el concreto. Estas condiciones son importantes para garantizar la efectividad y seguridad de los aditivos, así como para obtener los resultados deseados en la mezcla de concreto. Algunas consideraciones clave son:

Dosificación adecuada: Es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante para usar una dosificación correcta de aditivos. La cantidad precisa a utilizar dependerá de las características que se requieran en la mezcla de concreto.

Compatibilidad: Antes de emplear un aditivo, se debe verificar su compatibilidad con los otros materiales presentes en la mezcla de concreto, como el cemento y los agregados. Es importante asegurarse de que no se produzcan interacciones no deseadas o efectos negativos en las propiedades del concreto.

Mezcla y aplicaciones adecuadas: Los aditivos deben mezclarse y aplicarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Esto implica considerar la secuencia de adición, el tiempo de mezclado y cualquier otro requisito específico para garantizar una distribución uniforme de los aditivos en la mezcla de concreto.

Condiciones ambientales: Las condiciones climáticas, como la temperatura y la humedad, pueden influir en el comportamiento de los aditivos y en el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto. Se deben seguir las recomendaciones del fabricante para adaptar el uso de los aditivos a las condiciones ambientales existentes.

Control de calidad: Se recomienda llevar a cabo un control de calidad riguroso durante el proceso de empleo de aditivos. Esto implica realizar pruebas y análisis periódicos para asegurar que el concreto cumpla con los estándares requeridos y que los aditivos estén funcionando correctamente.

Clasificación de los aditivos

La Norma ASTM C-494 clasifica a los aditivos como:

- TIPO A: Reductores de agua.
- TIPO B: Retardadores de fragua.
- TIPO C: Acelerantes.
- TIPO D: Reductores de agua-retardadores de fragua.

- TIPO E: Reductores de agua-acelerantes.
- TIPO F: Reductores de agua de alto rango.
- TIPO G: Reductores de agua de alto rango-acelerantes.

El ACI 212 recomienda clasificar a los aditivos de acuerdo a los efectos de su empleo o a los tipos de materiales constituyentes en los siguientes tipos:

- Acelerantes.
- Incorporadores de aire.
- Reductores de agua y reguladores de fragua.
- Aditivos minerales.
- Generadores de gas.
- Aditivos para inyecciones.
- Productores de expansión
- Ligantes.
- Ayudas para bombeo.
- Colorantes.
- Floculantes.
- Impermeabilizantes.

Aditivos superplastificantes

Los aditivos superplastificantes son sustancias químicas utilizadas en la industria de la construcción para mejorar la trabajabilidad y la fluidez del concreto sin comprometer su resistencia. Estos aditivos permiten reducir la cantidad de agua necesaria en la mezcla de concreto, lo que facilita su colocación y compactación.

La norma ASTM C494, titulada "Especificación estándar para aditivos químicos para concreto", establece los requisitos y las pruebas para los aditivos superplastificantes. Esta norma clasifica los aditivos superplastificantes en dos categorías: Tipo A, que son los aditivos basados en sulfonatos de naftaleno, y Tipo F, que son los aditivos basados en policarboxilatos.

La norma ASTM C494 establece los límites de dosificación de los aditivos superplastificantes, las pruebas de desempeño y los criterios de aceptación. Algunas de las pruebas mencionadas en la norma incluyen la reducción del agua necesaria para alcanzar una fluidez específica, el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión.

Agua utilizada en el concreto

Según Tesillo (2004), se refiere al componente líquido esencial que se mezcla con los materiales secos, como el cemento, la arena y la grava, para formar una pasta que luego fragua y endurece, creando el concreto. Esta agua desempeña un papel crucial en la hidratación del cemento, lo que resulta en la formación de una masa sólida y resistente. Además, actúa como un agente que mejora la trabajabilidad de la mezcla, facilitando su colocación y compactación. La calidad del agua utilizada es fundamental, ya que impurezas o contaminantes pueden afectar negativamente las propiedades del concreto, lo que la convierte en un elemento crítico en el de construcción.

Agua para curado

Según Tesillo (2004), el agua para curado de concreto se define como el agua empleada durante el proceso de mantenimiento controlado del concreto fresco, con el propósito de preservar la humedad y promover un fraguado adecuado, lo que resulta en una mayor resistencia y durabilidad del concreto endurecido.

Capítulo III: Materiales, Propiedades y Ensayos

3.1 Propiedades de los Agregados

3.1.1 Análisis granulométrico (NTP 400.012:2021)

El análisis granulométrico se realiza mediante la medición del tamaño de las partículas de un material y su distribución. Para hacerlo, se utiliza un conjunto de tamices de malla de diferentes tamaños, que se colocan uno encima del otro en orden decreciente de tamaño de malla. El material se coloca en el tamiz superior y se agita para que las partículas más pequeñas pasen a través de la malla, quedando retenidas en el tamiz siguiente. Este proceso se repite hasta que todas las partículas han sido retenidas en los tamices adecuados.

Una vez que se ha completado el proceso de tamizado, se pesa el material retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje de material retenido en cada tamiz. A partir de estos datos, se puede trazar una curva granulométrica que muestra la distribución de tamaños de partículas en el material.

La norma NTP 400.037:2021 o ASTM C-33 definen los requisitos de tamaño máximo y mínimo para las partículas que conforman el agregado fino (tabla 6) y el agregado grueso (tabla 7).

Tabla 6
Límites granulométricos del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que Pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	10 a 30
150 µm (No. 100)	2 a 10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7
Límites granulométricos del agregado grueso.

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (¾ pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (¾ pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Elaboración propia.

Tamaño máximo (NTP 400.037:2021)

Según la norma técnica peruana, el tamaño máximo es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

Tamaño máximo nominal (NTP 400.037:2021)

Según la norma técnica peruana, es el tamaño máximo que se espera encontrar en un agregado, y se obtiene a través de un proceso de tamizado en el cual se retienen las partículas mayores que el tamaño nominal del tamiz más pequeño en el cual pasa el 95% o más del agregado.

Módulo de fineza (ASTM C33)

Según la norma ASTM, es un valor adimensional que indica la distribución de tamaños de partículas en agregados finos, y se obtiene a partir de la suma de los porcentajes acumulados retenidos en cada tamiz estándar de la serie estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 y dividiendo entre 100.

El módulo de fineza se utiliza para evaluar la calidad de los agregados finos, ya que influye en las propiedades del concreto y mortero, como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad. En general, se considera que un módulo de finura bajo indica una gradación más uniforme de los tamaños de partículas, mientras que un módulo de finura alto indica una gradación más heterogénea.

$$MF = \frac{\sum \% (3" + 1\ 1/2" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

3.1.2 Peso Unitario (NTP 400.017:2020:2020)

El peso unitario de los agregados es una medida de la densidad de los materiales utilizados en la fabricación del concreto, como la arena y la grava. Se refiere al peso de una unidad de volumen de agregado, generalmente medido en kilogramos por metro cúbico (kg/m³).

El peso unitario de los agregados depende de varios factores, incluyendo el tamaño y la forma de las partículas, la densidad de los materiales y el grado de compactación. Por lo general, el peso unitario de la arena oscila entre 1400 y 1600 kg/m³, mientras que el peso unitario de la grava varía entre 1500 y 1800 kg/m³.

Peso Unitario Suelto (PUS)

- Se selecciona una muestra representativa de los agregados que se desea medir, se seca completamente en un horno a una temperatura entre 100 °C y 110 °C y se enfría a temperatura ambiente.
- Se prepara un recipiente de volumen conocido, como una cubeta o un cilindro graduado, y se lo pesa vacío.
- Se llena el recipiente con los agregados secos hasta un nivel conocido, teniendo cuidado de no compactar el material.
- Se pesa el recipiente lleno de agregados.
- Se resta el peso del recipiente vacío del peso del recipiente lleno de agregados para obtener el peso de los agregados en el recipiente.
- Se calcula el peso unitario suelto dividiendo el peso de los agregados en el recipiente por el volumen del recipiente.

La capacidad del recipiente estará de conformidad con los límites de la tabla 8 para el tamaño del agregado a ser ensayado.

Tabla 8

Capacidad de medida del recipiente según TMN.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO		CAPACIDAD DE MEDIDA DEL RECIPIENTE	
mm	Pulgadas	L (m³)	p³
12,5	½	2,8 (0,0028)	1/10
25,0	1	9,3 (0,0093)	1/3
37,5	1 ½	14,0 (0,014)	½
75,0	3	28,0 (0,028)	1
112,0	4 ½	70,0 (0,070)	2 ½
150,0	6	100,0 (0,100)	3 ½

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del peso unitario suelto se realiza con la siguiente formula:

$$PUS = \frac{\text{Peso del material suelto}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Peso Unitario Compactado (PUC)

- Se selecciona una muestra representativa de los agregados que se desea medir.

- Se prepara un recipiente de volumen conocido, como una cubeta o un cilindro graduado, y se lo pesa vacío.
- Se llena el recipiente con los agregados secos hasta un nivel conocido, y se compacta el material utilizando una varilla de acero o un equipo de compactación, siguiendo un número determinado de capas y golpes.
- Se añade más agregados y se compacta, repitiendo el proceso hasta que el recipiente esté lleno y se hayan completado el número requerido de capas y golpes.
- Se pesa el recipiente lleno de agregados compactados.
- Se resta el peso del recipiente vacío del peso del recipiente lleno de agregados compactados para obtener el peso de los agregados en el recipiente.
- Se calcula el peso unitario compactado dividiendo el peso de los agregados en el recipiente por el volumen del recipiente.

El cálculo del peso unitario compactado se realiza con la siguiente formula:

$$PUC = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

3.1.3 Peso específico del agregado fino (NTP 400.022:2021)

El peso específico del agregado fino, que varía generalmente entre 2.2 y 2.8 gramos por centímetro cubico (g/cm^3), desempeña un papel crucial en la calidad y resistencia del concreto. Este factor debe ser considerado con atención al seleccionar materiales de construcción, ya que influye directamente en la relación agua/cemento y, por ende, en la calidad del concreto resultante.

El propósito de este ensayo es determinar valores específicos, con el peso específico seco, el peso específico de masa saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción del agregado fino. Estos valores son esenciales para llevar a cabo cálculos y ajustes en los diseños de mezclas de concreto. La comprensión precisa de las propiedades de la arena y su relación con el concreto es fundamental para lograr mezclas de alta calidad y rendimiento en proyectos de construcción.

Peso específico de masa (Pem)

Es la relación entre la masa del material y su volumen total, incluyendo los poros entre las partículas. Se expresa comúnmente en g/cm^3 .

En el caso del agregado fino, el peso específico de masa depende de la forma, tamaño, porosidad y composición del material. Por ejemplo, la densidad aparente de la arena puede variar entre 1400 y 1600 kg/m^3 , mientras que la densidad aparente de la grava puede ser de 1600 a 1800 kg/m^3 .

Es importante tener en cuenta que el peso específico de masa puede ser influenciada por la cantidad de humedad presente en el material. Por lo tanto, para comparar la densidad aparente de diferentes muestras de agregados, es necesario medirlas en las mismas condiciones de humedad y temperatura.

$$Pem = \frac{Wo}{V - Va}$$

Donde:

Pem = Peso específico de masa

Wo = Peso en el aire de la muestra secada en el horno en gramos

V = Volumen del frasco en cm^3

Va = Volumen en cm^3 del agua añadida al frasco

Peso específico de masa saturado superficialmente seco (Pesss)

Se define como la relación entre la masa de los sólidos del agregado y el volumen total del suelo, incluyendo los espacios porosos llenos de aire.

Para obtener el Pesss, primero se toma una muestra del agregado y se satura completamente con agua, por 24 horas aproximadamente, de manera que todos los poros se llenen con agua. Luego, se deja secar superficialmente, lo que significa que se retira el exceso de agua de la superficie de la muestra sin secar completamente el interior del agregado.

Finalmente, se pesa la muestra seca superficialmente y se calcula su volumen total. El Pesss se expresa en unidades de kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

$$P_{ess} = \frac{500 \times 100}{V - V_a}$$

Peso específico aparente (Pea)

El peso específico aparente es la masa total de un material dividida por su volumen total, incluyendo los espacios porosos o huecos entre las partículas. Esta medida es comúnmente.

Es importante tener en cuenta que el peso específico aparente puede verse afectado por la cantidad de humedad presente en el material. Por lo tanto, para comparar el peso específico aparente de diferentes muestras de un mismo material, es necesario medirlas en las mismas condiciones de humedad y temperatura.

$$P_{ea} = \frac{W_o \times 100}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$$

Donde W_o = Peso en el aire de la muestra secada en el horno en gramos.

Porcentaje de absorción (Ab)

La prueba de absorción implica sumergir la muestra de arena en agua durante un período de tiempo específico (24 horas) y luego medir la cantidad de agua que se absorbe. El porcentaje de absorción se calcula dividiendo la cantidad de agua absorbida por el peso seco de la muestra de arena y multiplicando por 100.

$$Ab = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

3.1.4 Peso específico del agregado grueso (NTP 400.021:2020)

El peso específico del agregado grueso puede variar según la fuente de la que se haya obtenido el agregado y su grado de compactación. El peso específico se refiere a la masa de una sustancia por unidad de volumen. En el caso del agregado grueso, se puede medir el peso específico aparente en seco y el peso específico aparente en estado húmedo.

Es importante tener en cuenta que el peso específico del agregado grueso puede afectar la calidad del concreto y otros productos de construcción que lo contienen, ya que puede influir en la resistencia, la densidad y la durabilidad de los materiales.

El objetivo de este ensayo es determinar el peso específico seco, el peso específico saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso.

La Tabla 9 muestra el peso mínimo de la muestra de ensayo que se utilizará.

Tabla 9

Peso mínimo de la muestra de ensayo (NTP 400.021:2020).

Tamaño máximo nominal	Peso mínimo – muestra de ensayo
mm (pulg)	kg (lb)
12,5 (1/2) o menos	2 (4,4)
19,0 (3/4)	3 (6,6)
25,0 (1)	4 (8,8)
37,5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112(4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)
150 (6)	125 (276)

Fuente: Elaboración propia.

Peso específico de masa (Pem)

Es una medida de la relación entre la masa de un volumen específico de agregado grueso y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas, ambos medidos a una temperatura estable.

Esta medida incluye los poros permeables e impermeables presentes en las partículas del agregado grueso, pero no los poros entre partículas. La densidad relativa del agregado grueso se expresa en unidades adimensionales y generalmente se encuentra en el rango de 2,4 a 2,9.

La densidad relativa del agregado grueso es un parámetro importante en la determinación de las propiedades físicas del concreto y otros productos de construcción que contienen este tipo de agregado.

$$P_{em} = \frac{A \times 100}{B - C}$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire en gramos

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire en gramos

C = Peso en el agua de la muestra saturada en gramos

Peso específico saturado superficialmente seco (Pesss)

Es una medida de la densidad de un material cuando está saturado con agua superficialmente y luego se deja secar en la superficie. Se refiere a la masa del material por unidad de volumen en condiciones en las que los poros del material están llenos de agua, pero no hay agua en la superficie del material.

En el caso del agregado, el peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso se mide en unidades de masa dividido por unidades de volumen, como kilogramos por metro cúbico (kg/m³). El valor del peso específico saturado superficialmente seco del agregado puede variar según la fuente del material y el grado de saturación.

$$P_{esss} = \frac{B \times 100}{B - C}$$

Peso específico aparente (Pea)

Se refiere a la masa del material por unidad de volumen, incluyendo los poros entre partículas del agregado grueso. Es una medida importante en la caracterización de este tipo de agregado y se utiliza para determinar la cantidad de material necesaria para producir una mezcla de concreto con las propiedades deseadas.

El peso específico aparente del agregado grueso se mide en unidades de masa dividido por unidades de volumen, como kilogramos por metro cúbico

(kg/m³). Es importante tener en cuenta que el peso específico aparente puede variar según la fuente del agregado y el grado de compactación.

$$Pea = \frac{A \times 100}{A - C}$$

Porcentaje de absorción (Ab)

Se refiere a la cantidad de agua que puede ser absorbida por el material por unidad de peso del agregado. Es una medida importante en la caracterización de este tipo de agregado y se utiliza para determinar la cantidad de agua que se debe agregar a una mezcla de concreto para lograr la consistencia deseada.

El porcentaje de absorción del agregado grueso se expresa como un porcentaje de la masa seca del agregado. Se determina sumergiendo el agregado en agua durante un período de tiempo específico, secándolo superficialmente y pesándolo. Luego se calcula la cantidad de agua absorbida en relación a la masa seca del agregado y se expresa como un porcentaje.

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Contenido de humedad (NTP 339.185:2021)

Se refiere a la cantidad de agua presente en el material en relación a su peso seco. Es un parámetro importante en la caracterización del agregado grueso y se utiliza para determinar la cantidad de agua que se debe agregar a una mezcla de concreto para lograr la consistencia deseada, también se considera un indicador de la calidad del material y debe ser monitoreado de manera regular para asegurar la consistencia en la producción de concreto

El contenido de humedad se calcula dividiendo la masa de agua perdida por la masa seca del agregado y multiplicando por 100%.

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje

W = Peso de la muestra húmeda original en gramos

D = Peso de la muestra seca en gramos

3.1.5 Porcentaje que pasa la malla N°200 (NTP 400.018:2020)

Se refiere a la cantidad de material de un tamaño determinado que pasa a través de la malla de tamaño de abertura de 0,075 mm (N°200) en relación al peso total de la muestra.

Para determinar el porcentaje que pasa la malla N°200, se pesa una muestra de agregado fino y se coloca en una serie de tamices de tamaño graduado, incluyendo la malla N°200. La muestra se agita en un tamizador mecánico durante un período de tiempo específico y se pesa la cantidad de material que queda retenido en la malla N°200. Luego, se calcula el porcentaje que pasa la malla N°200 dividiendo el peso del material que pasa a través de la malla N°200 por el peso total de la muestra y multiplicando por 100%.

$$A = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

A = Porcentaje del material más fino que pasa por el tamiz normalizado N°200 por vía húmeda.

P1 = Peso seco de la muestra original en gramos

P2 = Peso seco de la muestra ensayada en gramos

3.2 Materiales Usados en la Presente Investigación

3.2.1 Cemento usado en la investigación

En la investigación en curso se empleó el cemento Portland tipo I de la marca Sol, fabricado por la empresa Fábrica de Cemento Lima S.A. Este tipo de cemento presenta un peso de 42.5 kg y satisface los requisitos establecidos en las normas NTP 334.009:2020 y ASTM C-150. Los atributos físicos del cemento se encuentran detallados en la Tabla 10.

Tabla 10
Características físicas del cemento sol tipo I.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	VALOR NUMÉRICO	REQUISITO NTP 334.002:2018 ASTMC-150
Peso específico (g/cm ³)	3.15	---
Fineza Malla 100 (%)	0.04	---
Fineza Malla 200 (%)	4.14	---
Superficie específica blaine (cm ² /g)	3480	mínimo 2800
Contenido de aire (%)	9.99	máximo 12
Expansión autoclave (%)	0.18	máximo 0.8
Fraguado inicial vicat (h:min)	1.49	mínimo 0.45
Fraguado final vicat (h:min)	3.29	máximo 6.15
f'c a 3 días (kg/cm ²)	254	124(12.4 Mpa)
f'c a 7 días (kg/cm ²)	301	193(19.3 Mpa)
f'c a 28 días (kg/cm ²)	357	276(27.6 Mpa)
Calor de hidratación 7 días (cal/g)	70.6	---
Calor de hidratación 28 días (cal/g)	84.3	---

Fuente: Cementos Lima S.A. (2005).

3.2.2 Agua usada en la investigación

El agua potable es el tipo de agua recomendado para ser utilizado en la mezcla y el curado del concreto, ya que cumple con las normas de calidad necesarias para garantizar la durabilidad y resistencia del concreto.

3.2.3 Aditivo usado en la investigación

Para esta investigación se usó el aditivo reductor de agua de alto rango MasterGlenium SCC 3800 el cual pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato.

Características y beneficios

- Excelente desarrollo de resistencia inicial.
- Adecuado control de fraguado.
- Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado.
- Mantiene el aire incorporado consistente.
- Flexibilidad en la dosificación.
- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad.

- Reología controlada.
- Desarrollo de resistencias iniciales altas.
- Produce concretos cohesivos y sin segregación.
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados.
- Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana.
- Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado.
- Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra.
- Disminución del concreto rechazado.
- Optimiza el costo de las mezclas de concreto.

3.2.4 Agregados usados en la investigación

Agregado fino. El agregado fino (arena) utilizado fue de procedencia de la cantera Trapiche.

Agregado grueso. El agregado grueso (piedra) utilizado fue de procedencia de la cantera UNICON.

3.3 Resultados de los Ensayos de Agregados

3.3.1 Resultados de los ensayos del agregado fino

La tabla 11 resume los resultados de los ensayos de laboratorio realizados al agregado fino que se empleó en la elaboración del concreto de la investigación.

Tabla 11
Propiedades físicas del agregado fino.

Descripción	Resultados	Unidad
Cantera	Trapiche	
Peso unitario suelto (P.U.S)	1526.69	(Kg/m ³)
Peso unitario compactado (P.U.C)	1706.77	(Kg/m ³)
Peso específico de masa (Pem)	2.69	(g/cm ³)
Peso específico saturado superficialmente seco (Pesss)	2.51	(g/cm ³)
Peso específico aparente (Pea)	2.66	(g/cm ³)
Porcentaje de absorción (Ab)	3.66	%

Contenido de humedad (P)	2.69	%
Porcentaje que pasa la malla N°200	2.96	%
Módulo de finura	3.02	

Fuente: Elaboración propia.

La granulometría del agregado fino se puede apreciar en la tabla 12, mientras que en el gráfico 1 se representa la curva granulométrica correspondiente.

Tabla 12

Granulometría del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Acumulado que pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	0.45	0.04%	0.04%	99.96%
N° 8	2.36	119.15	11.92%	11.96%	88.04%
N°16	1.25	260.27	26.03%	37.99%	62.01%
N° 30	0.60	295.85	29.59%	67.57%	32.43%
N° 50	0.30	203.63	20.36%	87.93%	12.07%
N° 100	0.15	86.23	8.62%	96.56%	3.44%
FONDO		34.43	3.44%	100.00%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

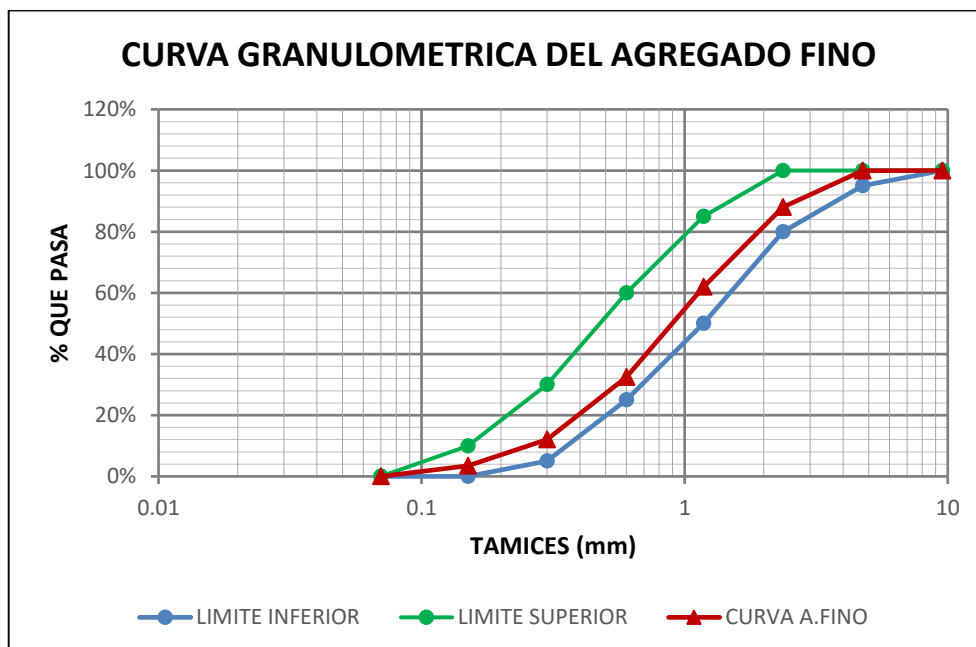


Gráfico 1. Granulometría del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Resultados de los ensayos del agregado grueso

Se presenta en la tabla 13 un resumen de los ensayos de laboratorio efectuados en el agregado grueso que se utilizará en la presente investigación para la elaboración del concreto

Tabla 13
Propiedades físicas del agregado grueso.

Descripción	Resultados	Unidad
Cantera	UNICON	
Peso unitario suelto (P.U.S)	1446.33	(Kg/m ³)
Peso unitario compactado (P.U.C)	1596.05	(Kg/m ³)
Peso específico de masa (Pem)	2.74	(g/cm ³)
Peso específico saturado superficialmente seco (Pesss)	2.75	(g/cm ³)
Peso específico aparente (Pea)	2.79	(g/cm ³)
Porcentaje de absorción (Ab)	0.67	%
Contenido de humedad (P)	0.31	%
Tamaño máximo	1 ½"	
Tamaño máximo nominal	1"	
Módulo de finura	7.23	

Fuente: Elaboración propia.

La granulometría del agregado grueso se encuentra en la tabla 14, mientras que el gráfico 2 muestra la curva granulométrica correspondiente.

Tabla 14
Granulometría del agregado grueso.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.00	980.85	9.81%	9.81%	90.19%
3/4"	19.00	2683.95	26.84%	36.65%	63.35%
1/2"	12.50	3499.60	35.00%	71.64%	28.36%
3/8"	9.50	1470.56	14.71%	86.35%	13.65%
N°4	4.75	1336.20	13.36%	99.71%	0.29%
FONDO		28.84	0.29%	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

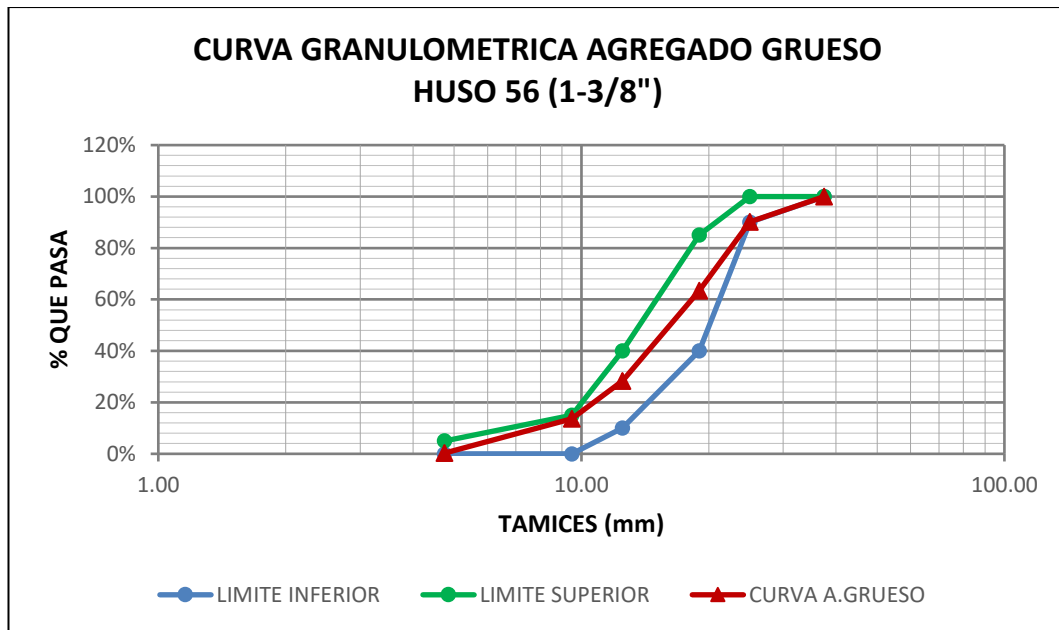


Gráfico 2. Granulometría del agregado grueso.
Fuente: Elaboración propia.

3.4 Agregado Global

La mayor parte del volumen del concreto está compuesta por los agregados, lo que significa que su presencia tiene un impacto directo en su comportamiento. Por lo tanto, el método del agregado global se enfoca en encontrar la mejor proporción de agregados finos y gruesos para lograr una mezcla más compacta que cumpla con los requisitos de tamaño establecidos en la norma NTP 400.037:2021.

Con este fin, se llevarán a cabo diversas combinaciones de prueba para determinar experimentalmente la proporción óptima de los agregados.

3.4.1 Peso unitario compactado del agregado global

Este experimento tiene como objetivo descubrir la combinación de agregados que produce la mayor compactación, para lo cual se realizarán diversas mezclas con diferentes proporciones. Para cada mezcla, se seguirá el mismo procedimiento utilizado en el ensayo de peso unitario compactado de los agregados de forma individual.

La tabla 15 presenta los resultados obtenidos de las diversas proporciones evaluadas.

Tabla 15

Resultados de ensayo de compacidad para el agregado global.

%ARENA	%PIEDRA	P.U.C PROMEDIO (kg/m ³)
44	56	1992.58
47	53	2033.89
50	50	2042.37
53	47	2012.71
56	44	2001.06

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 3 muestra cómo varía el peso unitario compactado en relación al porcentaje de participación de la arena. Se puede observar una curva en la que el punto máximo indica el peso unitario compactado máximo, lo que representa la mejor combinación de agregados.

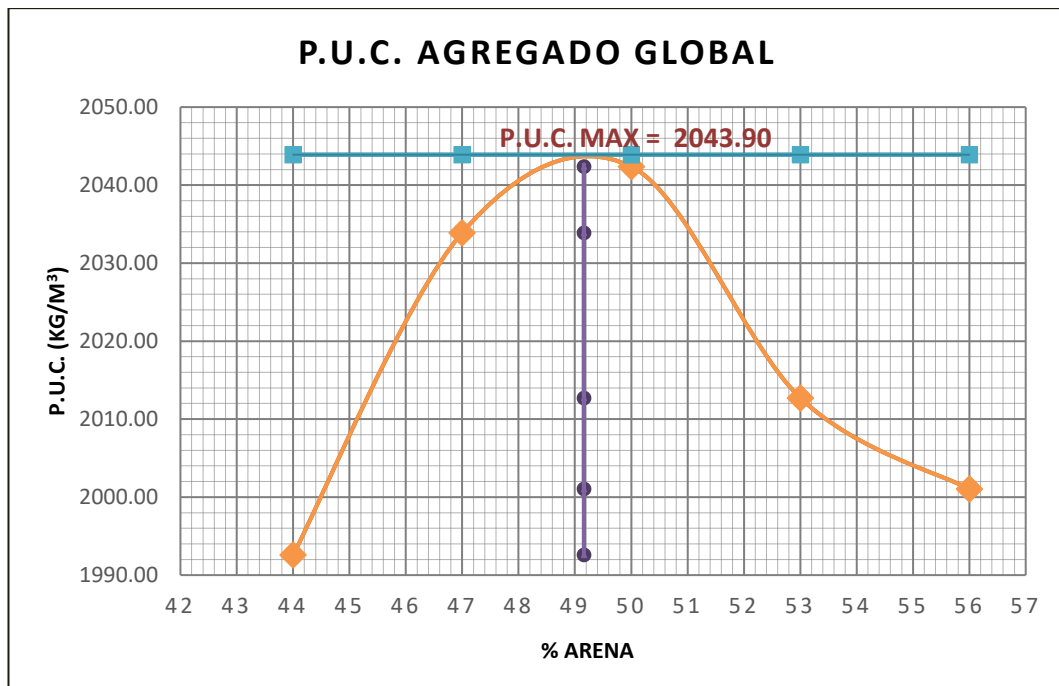


Gráfico 3. Ensayo de compacidad del agregado global.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico se observa:

Agregado fino = 49.16%

Agregado grueso = 50.84%

La mayor cifra alcanzada en este experimento es sólo una primera aproximación, que nos garantiza un uso económico de los materiales de construcción al reducir la cantidad de cemento empleado, mientras se logra un concreto de calidad. A pesar de ello, esta proporción no es la más adecuada

debido a que aún no se han considerado otros componentes del concreto, como el cemento y el agua. El capítulo IV proporcionará la proporción óptima, la cual será verificada mediante pruebas de resistencia.

3.4.2 Análisis granulométrico del agregado global

Se utiliza la información obtenida del análisis de P.U.C. máximo para llevar a cabo el análisis granulométrico del agregado global, utilizando los límites granulométricos establecidos en la norma NTP 400.037:2021.

En la tabla 16 se puede apreciar la distribución de tamaños del agregado global, mientras que en el gráfico 4 se representa la curva granulométrica correspondiente.

Tabla 16
Granulometría del agregado global.

Tamiz	%Retenido arena	%Retenido piedra	%Ret. arena 49.2%	%Ret. piedra 50.8%	%Acumulado global	
					Retenido	Pasa
1 1/2"		0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
1"		9.81%		4.99%	4.99%	95.01%
3/4"		26.84%		13.65%	18.63%	81.37%
1/2"		35.00%		17.79%	36.42%	63.58%
3/8"		14.71%		7.48%	43.90%	56.10%
N° 4	0.04%	13.36%	0.02%	6.79%	50.85%	49.28%
N° 8	11.92%	0.29%	5.86%	0.15%	56.72%	43.28%
N° 16	26.03%		12.79%		69.51%	30.49%
N° 30	29.59%		14.54%		84.06%	15.94%
N° 50	20.36%		10.01%		94.07%	5.93%
N° 100	8.62%		4.24%		98.31%	1.69%
FONDO	3.44%		1.69%		100.00%	0.00%
TOTAL	100.00%	100.00%	49.16%	50.84%		

Fuente: Elaboración propia.

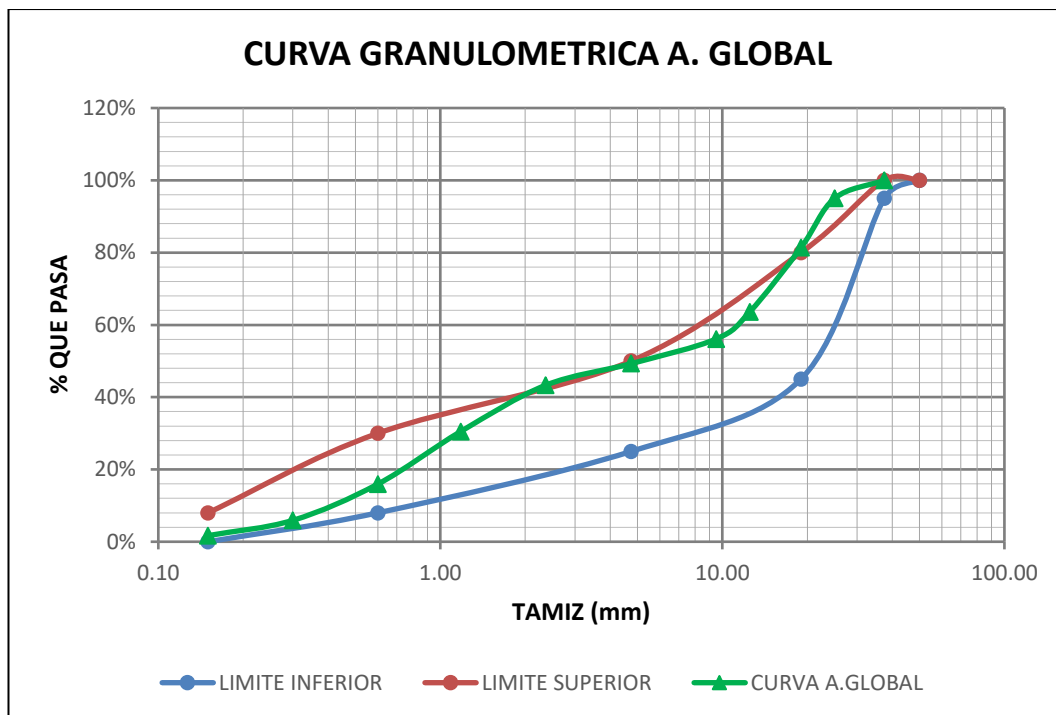


Gráfico 4. Ensayo de compacidad del agregado global.
Fuente: Elaboración propia.

El módulo de finura del agregado global se obtuvo: $MF = 5.16$.

Capítulo IV: Diseño del Concreto

4.1 Generalidades

El proceso de determinar las proporciones de los materiales necesarios para crear una unidad cubica de concreto implica la aplicación técnica y practica de conocimientos científicos sobre los componentes y su interacción. El objetivo es desarrollar un material que cumpla de manera eficiente los requisitos específicos de un proyecto constructivo (Tesillo, 2004).

En Perú, se utilizan diversas técnicas de diseño de mezclas que incluyen tablas y gráficos para estimar la cantidad de agua necesaria en función de la relación al tamaño máximo nominal, la forma del agregado y la cantidad de asentamiento requerido. Además, se emplean relaciones agua/cemento basadas en los valores de resistencia a la compresión obtenidos en pruebas, así como las proporciones de agregados finos y gruesos. Por lo tanto, el concreto resultante debe considerarse como un material de prueba, cuyas proporciones se determinan en función de los resultados obtenidos en laboratorio y las condiciones específicas del proyecto.

En la presente investigación se diseñará concreto con las siguientes características:

Cemento	: Portland tipo I
Relación agua/cemento	: 0.45, 0.50 y 0.55
Agregados	: Piedra (cantera UNICON), arena (cantera Trapiche)
Aditivo	: MasterGlenium SCC 3800
Dosificación de aditivo	: 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso de cemento
Rango de asentamiento	: 6" - 7"

4.2 Métodos de Diseño

4.2.1 Método por la relación agua cemento

- En situaciones donde no se disponga de registros de ensayo, se podría optar por elegir la relación agua/cemento para concretos con o sin aire incorporado basándose en la resistencia a la compresión.
- Los concretos producidos con estas proporciones elegidas en base a la relación agua/cemento, deberán cumplir con los criterios establecidos para la durabilidad y la resistencia a la compresión.

4.2.2 Método del comité ACI211

El método del comité ACI211 es un enfoque utilizado para la elaboración de concreto, que se basa en las recomendaciones y directrices establecidas por el American Concrete Institute (ACI). Este método proporciona una guía para seleccionar los materiales, determinar las proporciones y realizar pruebas para garantizar que el concreto cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos para el proyecto en cuestión.

La secuencia para aplicar este método son los siguientes:

- Definir los requisitos de resistencia y durabilidad para el proyecto en cuestión.
- Seleccionar los materiales adecuados para la elaboración del concreto, incluyendo el cemento, los agregados, el agua y los aditivos.
- Determinar la relación agua-cemento adecuada para lograr la resistencia y trabajabilidad deseadas.
- Calcular las proporciones de los materiales utilizando la relación agua-cemento y la cantidad de cemento necesaria.
- Verificar la trabajabilidad del concreto para asegurarse de que sea adecuada para el proyecto.
- Realizar pruebas de laboratorio para verificar que el concreto cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad establecidos.
- Ajustar la mezcla si los resultados de las pruebas no son satisfactorios, y volver a realizar pruebas hasta lograr los resultados deseados.

4.2.3 Método del módulo de finura de la combinación de agregados

Es una técnica utilizada en la selección y diseño de mezclas de concreto. Se basa en la determinación de la proporción de los agregados finos y gruesos necesarios para lograr una mezcla de concreto con las propiedades deseadas.

El método del módulo de finura consiste en los siguientes pasos:

- Seleccionar los agregados finos y gruesos disponibles para la mezcla.
- Realizar pruebas de laboratorio para determinar la finura de cada tipo de agregado. La finura se puede medir utilizando el tamizaje y la sedimentación.

- Calcular el módulo de finura de cada tipo de agregado, que es la suma acumulativa de los porcentajes retenidos en cada tamiz dividido por 100.
- Calcular el módulo de finura combinado de la mezcla de agregados, que es la suma de los módulos de finura de los agregados finos y gruesos, dividido por el total de los porcentajes retenidos en los tamices utilizados.
- Seleccionar un módulo de finura objetivo para la mezcla de concreto, basado en las propiedades deseadas, como la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad.
- Calcular la proporción de agregados finos y gruesos necesaria para alcanzar el módulo de finura objetivo.

El método del módulo de finura es una herramienta útil para la selección de proporciones de agregados para la elaboración de mezclas de concreto. Permite ajustar la cantidad de agregado fino y grueso en la mezcla para lograr las propiedades deseadas.

4.3 Método del Agregado Global

Hay varios métodos de diseño que se utilizan para la dosificación de concreto. Uno de ellos es el método del agregado global, el cual complementa los métodos que se describieron en los ítems anteriores. Al aplicar estos métodos de manera lógica y considerando posibles mejoras, se puede obtener resultados más útiles en la práctica.

De manera general, se determina la relación agua-cemento en función de la resistencia y durabilidad que se busquen en el concreto, para así encontrar la proporción ideal entre el agregado fino y grueso que permita lograr una trabajabilidad adecuada al mezclarse con el agua y el cemento. Es importante tener en cuenta que esta relación no debe buscarse con una precisión absoluta, sino más bien como una guía inicial para los diseños de obra.

En 1917, Fuller y Thompson en Norteamérica propusieron un método de dosificación científica de concreto basado en una curva granulométrica continua, el cual fue llamado "método de Fuller". Esta propuesta sostenía que la calidad del concreto no dependía únicamente de la cantidad de cemento utilizada en la mezcla, sino que, al emplear agregados con una curva granulométrica adecuada, se podían mejorar la resistencia mecánica y otras características importantes.

4.4 Secuencia de la Metodología para el Diseño de la Mezcla

Este estudio se basa en el uso de relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, con asentamientos de 6 a 7 pulgadas, para lograr una resistencia de media a alta. Se utiliza el aditivo reductor de agua de alto rango (de última generación) junto con cemento portland tipo I, y se añade el aditivo en proporciones de 0.85%, 1.00% y 1.25% en relación al peso del cemento. El objetivo es garantizar la durabilidad en el diseño de mezclas y lograr un comportamiento que cumpla con las propiedades en estado fresco, permitiendo una adecuada trabajabilidad. En el estado endurecido se buscan valores de alta resistencia a la compresión y resistencia a la tracción por compresión diametral de los 12 tipos de diseños, que incluyen 3 diseños de concreto patrón y 9 diseños de concreto con el aditivo utilizado.

Para la presente tesis de investigación se usó el método del agregado global.

4.5 Diseño del Concreto Patrón

El diseño del concreto patrón es un proceso importante que garantiza que el concreto utilizado en la construcción de estructuras tenga las propiedades requeridas de resistencia y durabilidad. Este proceso implica la selección cuidadosa de los materiales y proporciones adecuados y la realización de pruebas de laboratorio para verificar la calidad del concreto.

El objetivo de esta investigación es mejorar la eficiencia en el uso de los agregados en la producción de concreto, centrándose en particular en el cemento, ya que es el componente que más impacta el costo. Para lograr esto, se seguirán los siguientes pasos:

- En primer lugar, se buscará determinar la cantidad adecuada de agua que se necesitará en el concreto patrón.
- En segundo lugar, se identificarán los porcentajes ideales de participación de los diferentes tipos de agregados.
- Finalmente, se procederá a realizar la dosificación del concreto patrón utilizando la información recopilada en los pasos anteriores.

4.5.1 Método para la obtención del agua

Luego de obtener el PUC del agregado global, se inicia el cálculo de la cantidad de agua requerida en litros por metro cúbico con el fin de alcanzar un

asentamiento de 6" a 7" en la elaboración del concreto. Para alcanzar este objetivo, se realizan diversas pruebas y se realizan ajustes hasta que se encuentra la cantidad precisa de agua necesaria para conseguir el asentamiento deseado en el diseño.

Para el diseño del concreto patrón, se requiere determinar la cantidad adecuada de agua mediante un proceso experimental en el laboratorio. El objetivo de esta prueba es lograr un asentamiento de 6" a 7" para asegurar la trabajabilidad del concreto. En este caso particular, se buscará encontrar la cantidad de agua necesaria para una relación promedio a/c = 0.50. Durante la prueba experimental, se seleccionarán tres valores de agua (215, 225 y 235 l/m³).

Se estimó el aire atrapado para el T.M.N. de 1", en este caso 1.5% presentado en la tabla 6.3.3 ACI 211. Los diseños correspondientes se presentan en las tablas 17, 18 y 19, mientras que los valores de asentamiento se encuentran en la tabla 20.

Tabla 17

Diseño de mezcla para 215 litros de agua.

MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (30 Kg)
	D.S (kg)	P. E (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³	D.U.S	D.O (kg)	D.U.O	
Cemento	430.00	3150	0.137	1.00	430.00	1.00	5.57
Agua	215.00	1000	0.215	0.50	225.49	0.52	2.92
Arena	753.65	2420	0.311	1.75	773.92	1.80	10.03
Piedra	882.46	2740	0.322	2.05	885.20	2.06	11.47
Aire A.	0.015		0.015				
Suma			1.00		2314.61	5.38	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Diseño de mezcla para 225 litros de agua.

MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (30 Kg)
	D.S (kg)	P. E (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³	D.U.S	D.O (kg)	D.U.O	
Cemento	450.00	3150	0.143	1.00	450.00	1.00	5.87
Agua	225.00	1000	0.225	0.50	235.22	0.52	3.07
Arena	734.20	2420	0.303	1.63	753.95	1.68	9.83
Piedra	859.69	2740	0.314	1.91	862.35	1.92	11.24
Aire A.	0.015		0.015				
Suma			1.00		2301.52	5.11	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Diseño de mezcla para 235 litros de agua.

MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (30 Kg)
	D.S (kg)	P. E (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³	D.U.S	D.O (kg)	D.U.O	
Cemento	470.00	3150	0.149	1.00	470.00	1.00	6.16
Agua	235.00	1000	0.235	0.50	244.95	0.52	3.21
Arena	714.75	2420	0.295	1.52	733.97	1.56	9.62
Piedra	836.92	2740	0.305	1.78	839.51	1.79	11.01
Aire A.	0.015		0.015				
Suma			1.00		2288.43	4.87	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Agua vs Asentamiento.

a/c = 0.50	
Agua (l/m ³)	Asentamiento (pulg)
215	4.2
225	6.1
235	7.5

Fuente: Elaboración propia.

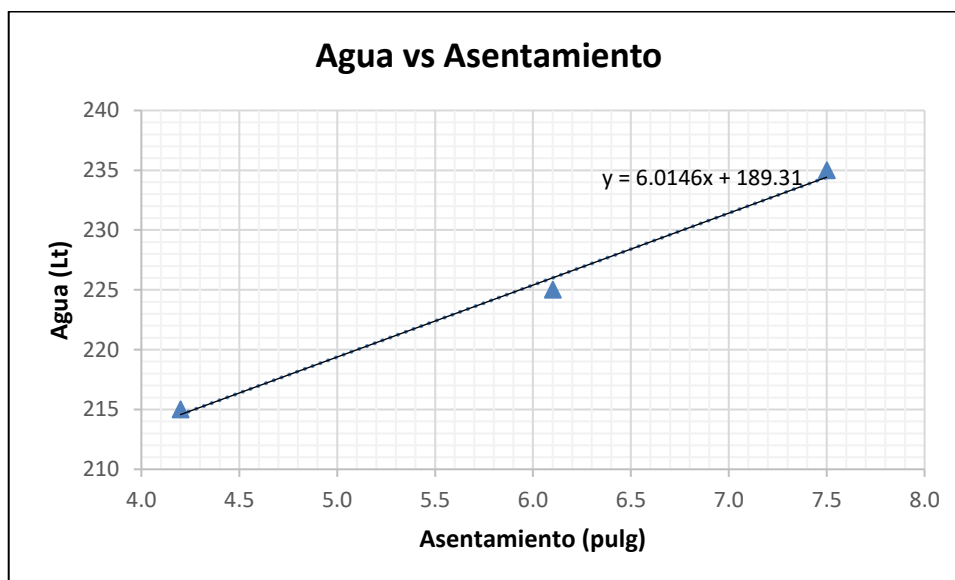


Gráfico 5. Relación entre la cantidad de agua (l) y el asentamiento (pulg).

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados obtenidos para la cantidad de agua necesaria para un asentamiento en el rango de 6" a 7", y tomando como valor promedio 6.5", se selecciona la cantidad de agua adecuada para el diseño patrón. En este caso, de acuerdo con el gráfico:

El agua patrón es: 229 litros/m³

4.5.2 Determinación de la relación arena/piedra por resistencia

En el capítulo III se llevó a cabo la prueba de Compactación de Peso Unitario en el agregado global y se obtuvo un porcentaje óptimo inicial de agregados. Sin embargo, este porcentaje no es suficiente ya que los cálculos se basan únicamente en la granulometría del agregado. En esta fase, hay variables más precisas, como la cantidad de agua determinada, lo que implica que el cálculo del cemento se realiza mediante la resistencia experimental, utilizando la compresión axial y ajustándose a la nueva curva resultante.

Se llevará a cabo el siguiente procedimiento definido por Cachay (1995):

- Se diseñarán tres mezclas de prueba con una relación agua/cemento de 0.50, manteniendo la cantidad de agua patrón obtenida previamente constante, pero variando los porcentajes de agregados en $\pm 3\%$ en comparación con los valores encontrados anteriormente.
- Las muestras se sacarán de sus moldes después de un mínimo de 24 horas.
- Las muestras se curarán sumergiéndolas en agua durante 7 días.
- Después de ese periodo, las muestras se sacarán de la poza y se someterán al ensayo de compresión axial.

Las tablas 21, 22 y 23 presentan los diseños de las pruebas junto con la variación correspondiente de $\pm 3\%$ en el agregado de máximo P.U.C. En tanto, los resultados del ensayo de compresión axial se exponen en la tabla 24.

Tabla 21

Diseño de mezcla con arena/piedra = 46.16% /53.84%.

	a/c = 0.50 y arena = 46.16%						
	P.S	P.E (kg/m ³)	Vol. Abs.	D.U.S	D.O	D.U.O	LAB. (kg)
Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.00	1.00	5.97
Agua	229.00	1000	0.229	0.50	238.86	0.52	3.11
Arena	682.09	2420	0.282	1.49	700.44	1.53	9.13

Piedra	900.77	2740	0.329	1.97	903.56	1.97	11.78
Aire A.	0.015		0.015				
suma			1.00		2300.86	5.02	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22

Diseño de mezcla con arena/piedra = 49.16% /50.84%.

a/c = 0.50 y arena = 49.16%							
	P.S	P.E (kg/m ³)	Vol. Abs.	D.U.S	D.O	D.U.O	LAB. (kg)
Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.00	1.00	5.98
Agua	229.00	1000	0.229	0.50	239.11	0.52	3.12
Arena	726.42	2420	0.300	1.59	745.96	1.63	9.75
Piedra	850.58	2740	0.310	1.86	853.22	1.86	11.15
Aire A.	0.015		0.015				
suma			1.00		2296.28	5.01	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Diseño de mezcla con arena/piedra = 52.16% /47.84%.

a/c = 0.50 y arena = 52.16%							
	P.S	P.E (kg/m ³)	Vol. Abs.	D.U.S	D.O	D.U.O	LAB. (kg)
Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.00	1.00	6.00
Agua	229.00	1000	0.229	0.50	239.36	0.52	3.13
Arena	770.75	2420	0.318	1.68	791.48	1.73	10.36
Piedra	800.39	2740	0.292	1.75	802.87	1.75	10.51
Aire A.	0.015		0.015				
suma			1.00		2291.71	5.00	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24

Resultados de ensayo de compresión axial a los 7 días.

Agregados		Resistencia (kg/cm²)	
% Arena	%Piedra	f'c	Promedio
46.16	53.84	296.1	299.96
		308.3	
		295.5	
49.16	50.84	315.6	320.50
		319.5	
		326.4	
52.16	47.84	309.5	309.43
		312.8	

306.0

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procedió a la creación de un diagrama que ilustre los resultados obtenidos en los ensayos de compresión axial realizados después de 7 días. Dicha información está en el gráfico 6.

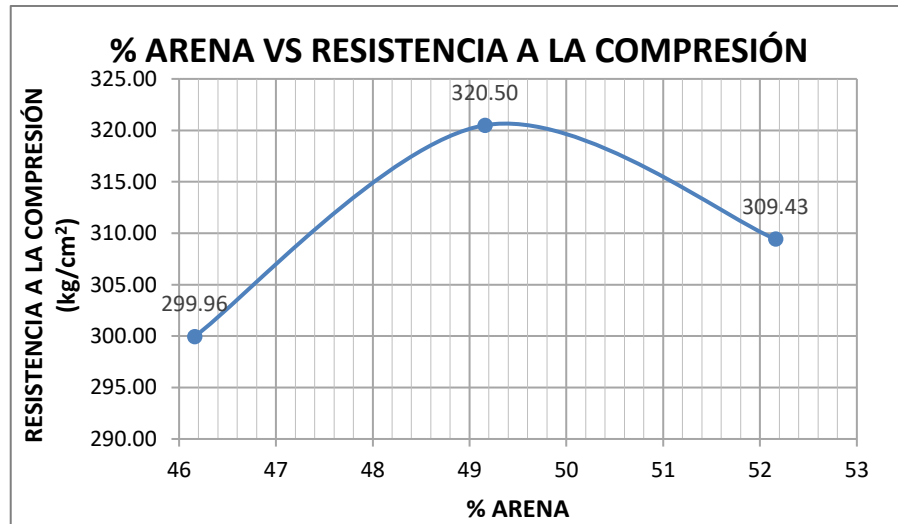


Gráfico 6. Porcentaje de arena vs resistencia a la compresión (kg/cm²).
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una comparación entre la gráfica correspondiente al máximo P.U.C. del agregado global y la gráfica que ilustra los resultados de los ensayos de compresión axial a los 7 días. El propósito de esta comparación es determinar el porcentaje de participación óptimo de los agregados. Dicha información será presentada en el gráfico 7.

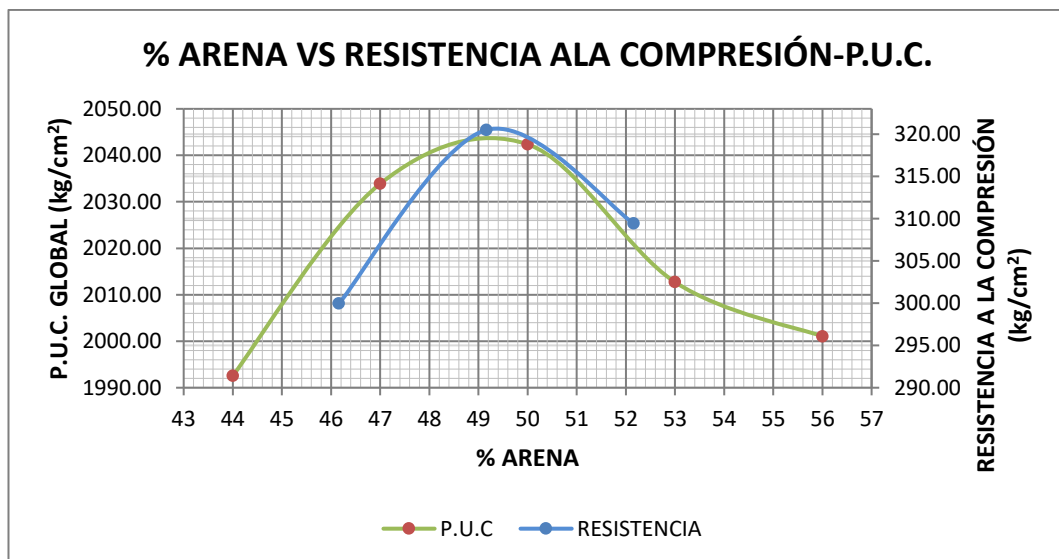


Gráfico 7. Porcentaje de arena vs resistencia a la compresión – P.U.C.
Fuente: Elaboración propia.

Ahora se llevará a cabo una comparación entre la gráfica actual y la gráfica del P.U.C. máximo del agregado global, con el fin de obtener el porcentaje de participación ideal de los agregados. Puede observar esta información en el gráfico 7.

Agregado fino es 49.40%.

Agregado grueso es 50.60%.

Capítulo V: Elaboración de Muestras para los Ensayos

5.1 Dosificación del Concreto Patrón

Después de determinar las mejores propiedades y cantidades de los agregados y manteniendo la misma cantidad de agua, se procede a medir las proporciones del concreto patrón para diferentes relaciones agua/cemento (a/c) de 0.45, 0.50 y 0.55, asegurando que la consistencia de la mezcla esté dentro del rango de 6" a 7". Se tuvo en cuenta el contenido de aire atrapado del 1.5% para un tamaño máximo nominal de agregado de 1 pulgada, según lo establecido en la tabla del ACI.

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades de los agregados usados para la elaboración de las muestras de concreto, en la tabla 25, y se mostraran los resúmenes de los cálculos realizados en cuadros para cada relación a/c.

Tabla 25

Propiedades de los agregados para el diseño.

	Agregado Fino	Agregado Grueso	Cemento
% Participación	49.40	50.60	
P.E. (g/cm ³)	2.42	2.74	3.15
%H	2.69	0.31	
% Absorción	3.66	0.67	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1 Concreto Patrón con relación a/c = 0.45

La tabla 26 resume el diseño definitivo del concreto patrón para una relación agua/cemento (a/c) de 0.45, indicando el asentamiento obtenido.

Tabla 26

Diseño de concreto patrón a/c = 0.45.

a/c = 0.45							
MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. 80 Kg
	D.S kg	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs. m ³	D.U.S.	D.O kg	D.U.O.	
Cemento	531.11	3150	0.169	1.00	531.11	1.00	18.54
Agua	239.00	1000	0.239	0.45	248.58	0.47	8.68
Arena	690.26	2420	0.285	1.30	708.83	1.33	24.75
Piedra	800.52	2740	0.292	1.51	803.00	1.51	28.03
Aire A.			0.015				
		Σ	1.00		2291.52	4.31	80.00

asentamiento**6.70 pulg**

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Concreto Patrón con relación $a/c = 0.50$

La tabla 27 resume el diseño definitivo del concreto patrón para una relación agua/cemento (a/c) de 0.50, indicando el asentamiento obtenido.

Tabla 27Diseño de concreto patrón $a/c = 0.50$.

$a/c = 0.50$							
MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
	D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs m ³	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.00	1.00	15.96
Agua	229.00	1000	0.229	0.50	239.13	0.52	8.33
Arena	729.96	2420	0.302	1.59	749.60	1.64	26.12
Piedra	846.56	2740	0.309	1.85	849.19	1.85	29.59
Aire A.			0.015				
	Σ		1.00		2295.92	5.01	80.00
asentamiento				6.50 pulg.			

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Concreto Patrón con relación $a/c = 0.55$

La tabla 28 resume el diseño definitivo del concreto patrón para una relación agua/cemento (a/c) de 0.55, indicando el asentamiento obtenido.

Tabla 28Diseño de concreto patrón $a/c = 0.55$.

$a/c = 0.55$							
MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
	D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs m ³	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
Cemento	400.00	3150	0.127	1.00	400.00	1.00	13.91
Agua	220.00	1000	0.220	0.55	230.58	0.58	8.02
Arena	762.74	2420	0.315	1.91	783.25	1.96	27.23
Piedra	884.57	2740	0.323	2.21	887.31	2.22	30.85
Aire A.			0.015				
	Σ		1.00		2301.15	5.75	80.00
asentamiento				6.30 pulg.			

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Elaboración del Diseño del Concreto Patrón con Incorporación de Aditivo

La investigación sobre el concreto con aditivo se basa en el diseño del patrón de concreto al cual se le incorpora el aditivo. Este último se describe en la hoja técnica del producto del aditivo reductor de agua de alto rango, y sus propiedades se utilizan como referencia para determinar la cantidad de agua que se puede reducir en función del porcentaje de aditivo que se agrega.

Para mantener las condiciones de trabajabilidad y el aspecto del diseño original del concreto patrón, se recomendaron dosificaciones iniciales de 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso del cemento. Desde el inicio de la investigación se buscó lograr un asentamiento constante en un rango de 6" a 7".

5.2.1 Dosificación de $a/c = 0.45$ con aditivo

- **$a/c = 0.45$ y aditivo 0.85% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 0.85% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 29.

Tabla 29

Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 0.85%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs. (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	531.11	3150	0.169	1.00	531.111	1.0000	17.95
	Agua	189.00	1000	0.189	0.36	199.335	0.3753	6.74
	Arena	744.90	2420	0.308	1.40	764.934	1.4403	25.86
	Piedra	863.88	2740	0.315	1.63	866.560	1.6316	29.29
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	4.5144	1050	0.0043	0.009	4.514	0.0085	0.1526
Σ								80.00
asentamiento						6.90 pulg.		
reducción de agua						50.00 l/m³		
% reducido						20.92%		

Fuente: Elaboración propia.

- **$a/c = 0.45$ y aditivo 1.00% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 1.00% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 30.

Tabla 30

Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 1.00%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	531.11	3150	0.169	1.00	531.1111	1.0000	17.60
	Agua	159.00	1000	0.159	0.30	169.8205	0.3197	5.63
	Arena	779.85	2420	0.322	1.47	800.8316	1.5078	26.54
	Piedra	904.42	2740	0.330	1.70	907.2272	1.7082	30.06
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	5.3111	1050	0.0051	0.010	5.3111	0.0100	0.1760
							Σ	80.00
asentamiento						7.00 pulg.		
reducción de agua						80.00 l/m ³		
% reducido						33.47%		

Fuente: Elaboración propia.

- **$a/c = 0.45$ y aditivo 1.25% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 1.25% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 31.

Tabla 31

Diseño de concreto con $a/c = 0.45$ y aditivo al 1.25%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	531.11	3150	0.169	1.00	531.1111	1.0000	17.37
	Agua	138.00	1000	0.138	0.26	149.1479	0.2808	4.88
	Arena	803.45	2420	0.332	1.51	825.0596	1.5535	26.98
	Piedra	931.79	2740	0.340	1.75	934.6740	1.7598	30.56
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	6.6389	1050	0.0063	0.013	6.6389	0.0125	0.2171
							Σ	80.00
asentamiento						6.50 pulg.		
reducción de agua						101.00 l/m ³		
% reducido						42.26%		

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Dosificación de $a/c = 0.50$ con aditivo

- **$a/c = 0.50$ y aditivo 0.85% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 0.85% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 32.

Tabla 32

Diseño de concreto con a/c = 0.50 y aditivo al 0.85%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs. (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.0000	1.0000	15.53
	Agua	186.30	1000	0.186	0.41	197.0751	0.4303	6.68
	Arena	776.58	2420	0.321	1.70	797.4685	1.7412	27.03
	Piedra	900.63	2740	0.329	1.97	903.4172	1.9725	30.63
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	3.8930	1050	0.0037	0.009	3.8930	0.0085	0.1320
							Σ	80.00
asentamiento						6.60 pulg.		
reducción de agua						42.70 l/m³		
% reducido						18.65%		

Fuente: Elaboración propia.

- a/c = 0.50 y aditivo 1.00% del peso de cemento

Se calculó el volumen de aditivo al 1.00% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 33.

Tabla 33

Diseño de concreto con a/c = 0.50 y aditivo al 1.00%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs. (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.0000	1.0000	15.23
	Agua	157.80	1000	0.158	0.34	169.0369	0.3691	5.62
	Arena	809.87	2420	0.335	1.77	831.6529	1.8158	27.66
	Piedra	939.23	2740	0.343	2.05	942.1433	2.0571	31.33
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	4.5800	1050	0.0044	0.010	4.5800	0.0100	0.1523
							Σ	80.00
asentamiento						6.70 pulg.		
reducción de agua						71.20 l/m³		
% reducido						31.09%		

Fuente: Elaboración propia.

- **a/c = 0.50 y aditivo 1.25% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 1.25% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 34.

Tabla 34

Diseño de concreto con a/c = 0.50 y aditivo al 1.25%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	458.00	3150	0.145	1.00	458.0000	1.0000	15.16
	Agua	149.80	1000	0.150	0.33	161.1516	0.3519	5.33
	Arena	818.13	2420	0.338	1.79	840.1353	1.8344	27.81
	Piedra	948.81	2740	0.346	2.07	951.7526	2.0781	31.51
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	5.7250	1050	0.0055	0.013	5.7250	0.0125	0.1895
							Σ	80.00
asentamiento						6.90 pulg.		
reducción de agua						79.20 l/m ³		
% reducido						34.59%		

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Dosificación de a/c = 0.55 con aditivo

- **a/c = 0.55 y aditivo 0.85% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 0.85% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 35.

Tabla 35

Diseño de concreto con a/c = 0.55 y aditivo al 0.85%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs. (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	400.00	3150	0.127	1.00	400.0000	1.0000	13.59
	Agua	184.20	1000	0.184	0.46	195.3231	0.4883	6.64
	Arena	801.66	2420	0.331	2.00	823.2270	2.0581	27.97
	Piedra	929.72	2740	0.339	2.32	932.5980	2.3315	31.69
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	3.4000	1050	0.0032	0.009	3.4000	0.0085	0.1155
							Σ	80.00
asentamiento						6.70 pulg.		

reducción de agua	35.80 l/m ³
% reducido	16.27%

Fuente: Elaboración propia.

- **a/c = 0.55 y aditivo 1.00% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 1.00% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 36.

Tabla 36

Diseño de concreto con a/c = 0.55 y aditivo al 1.00%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	400.00	3150	0.127	1.00	400.0000	1.0000	13.31
	Agua	153.23	1000	0.153	0.38	164.8573	0.4121	5.49
	Arena	838.00	2420	0.346	2.10	860.5455	2.1514	28.63
	Piedra	971.86	2740	0.355	2.43	974.8744	2.4372	32.44
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	4.0000	1050	0.0038	0.010	4.0000	0.0100	0.1331
							Σ	80.00
asentamiento						6.90 pulg.		
reducción de agua						66.77 l/m ³		
% reducido						30.35%		

Fuente: Elaboración propia.

- **a/c = 0.55 y aditivo 1.25% del peso de cemento**

Se calculó el volumen de aditivo al 1.25% del peso de cemento, con el cual se realizó el diseño mostrado en la tabla 37.

Tabla 37

Diseño de concreto con a/c = 0.55 y aditivo al 1.25%.

a/c	MATERIAL	DISEÑO SECO			DISEÑO EN OBRA			DISEÑO LAB. (80 Kg)
		D.S (kg)	P.E. (kg/m ³)	Vol. Abs (m ³)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	
0.45	Cemento	400.00	3150	0.127	1.00	400.0000	1.0000	13.21
	Agua	141.63	1000	0.142	0.35	153.4339	0.3836	5.07
	Arena	850.73	2420	0.352	2.13	873.6169	2.1840	28.86
	Piedra	986.62	2740	0.360	2.47	989.6825	2.4742	32.69
	Aire A.			0.0150				
	Aditivo	5.0000	1050	0.0048	0.013	5.0000	0.0125	0.1652
							Σ	80.00

asentamiento	7.00 pulg.
reducción de agua	78.37 l/m ³
% reducido	35.62%

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Resultado del Agua Reducida en cada Diseño

En la tabla 38 y en el gráfico 8 se pueden encontrar las comparaciones para la relación $a/c = 0.45$.

Tabla 38

Resultado de la reducción de agua para $a/c = 0.45$.

agua/cemento = 0.45		
Concreto	Agua reducida (l)	Agua reducida (%)
Concreto Patrón (C.P.)	0.00	0.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	50.00	20.92%
C.P. + Aditivo 1.00%	80.00	33.47%
C.P. + Aditivo 1.25%	101.00	42.26%

Fuente: Elaboración propia.

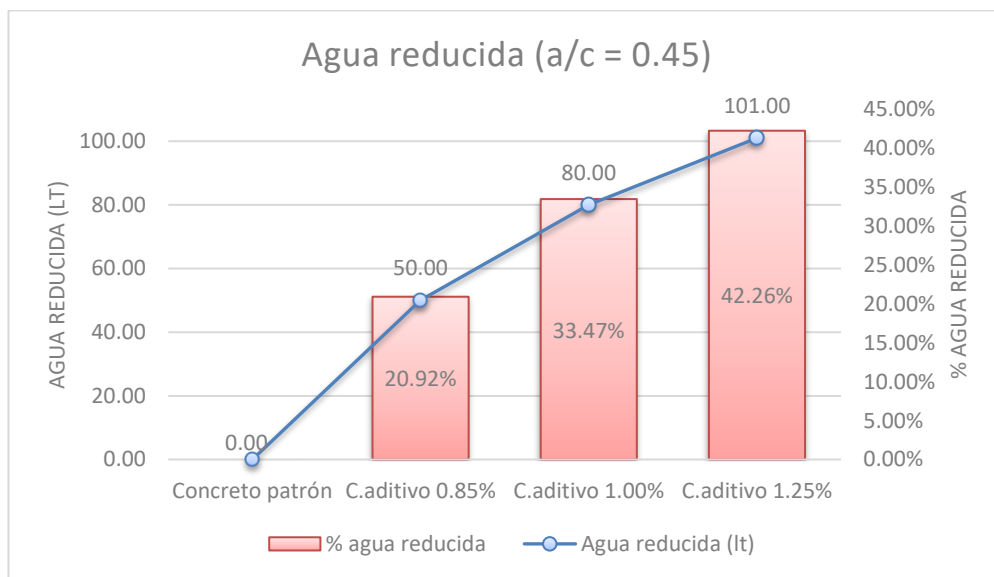


Gráfico 8. Cantidad de agua reducida por m³ de concreto para $a/c = 0.45$.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 39 y en el gráfico 9 se pueden encontrar las comparaciones para la relación $a/c = 0.50$.

Tabla 39

Resultado de la reducción de agua para $a/c = 0.50$.

agua/cemento = 0.50		
Concreto	Agua reducida	Agua reducida

	(lt)	(%)
Concreto Patrón (C.P.)	0.00	0.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	42.70	18.65%
C.P. + Aditivo 1.00%	71.20	31.09%
C.P. + Aditivo 1.25%	79.20	34.59%

Fuente: Elaboración propia.

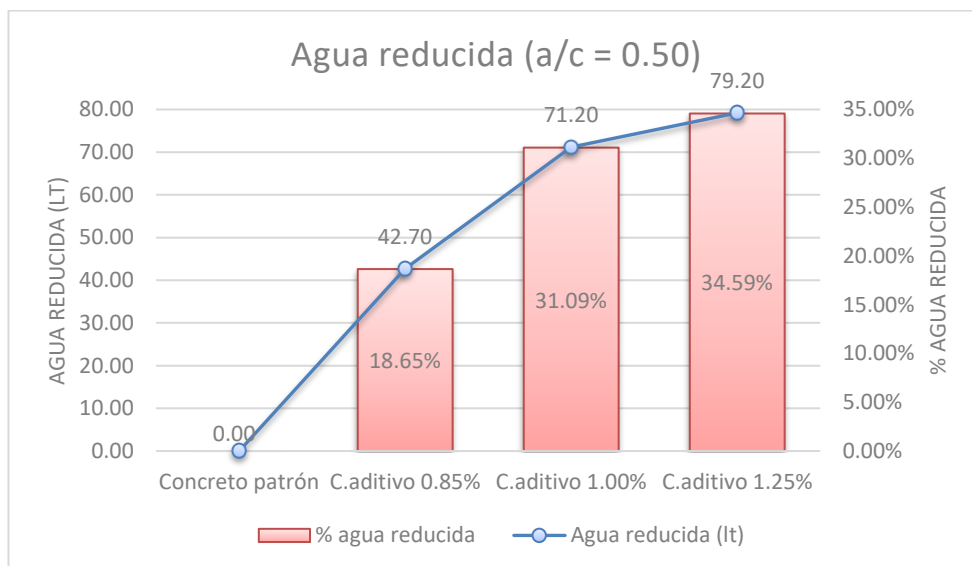


Gráfico 9. Cantidad de agua reducida por m³ de concreto para a/c = 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 40 y en el gráfico 10 se pueden encontrar las comparaciones para la relación a/c = 0.55.

Tabla 40

Resultado de la reducción de agua para a/c = 0.55.

agua/cemento = 0.55		
Concreto	Agua reducida (litros)	Agua reducida (%)
Concreto Patrón (C.P.)	0.00	0.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	35.80	16.27%
C.P. + Aditivo 1.00%	66.77	30.35%
C.P. + Aditivo 1.25%	78.37	35.62%

Fuente: Elaboración propia.

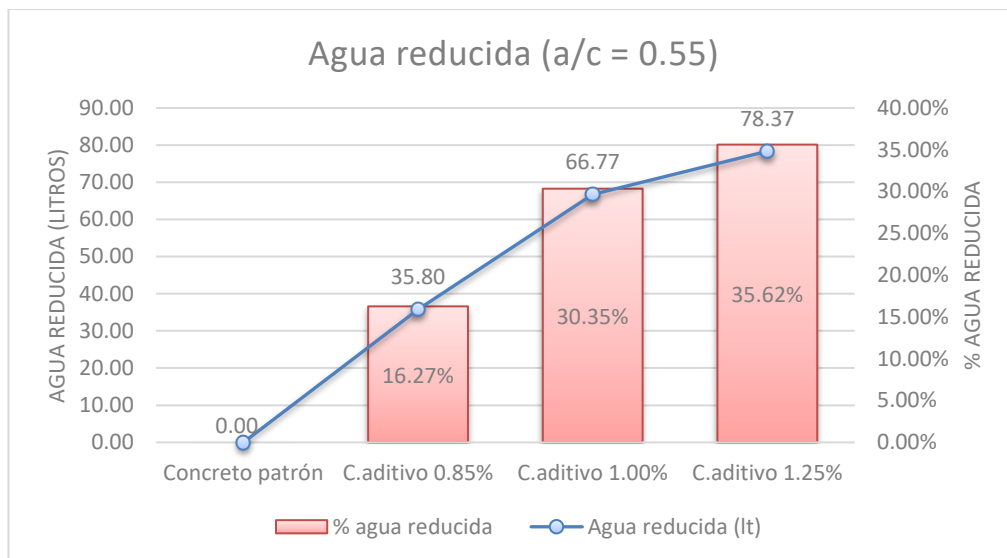


Gráfico 10. Cantidad de agua reducida por m^3 de concreto para $a/c = 0.55$.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VI: Resultado de los Ensayos

Este capítulo describe los ensayos experimentales realizados en el estado fresco de la mezcla, así como la elaboración de las probetas. Es importante destacar que se llevaron a cabo utilizando equipos calibrados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM) de la UNI.

6.1 Ensayos

Se detalla los ensayos realizados a continuación:

a) Ensayos en estado fresco:

- Asentamiento
- Precio Unitario
- Fluidez
- Contenido de aire
- Exudación
- Tiempo de fragua inicial y final

b) Ensayo en estado endurecido:

- Ensayo en compresión axial
- Ensayo de tracción por compresión diametral

6.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco

El propósito de realizar múltiples ensayos en el concreto en su estado fresco es para que se pueda asegurar la calidad del control sobre dicho concreto.

6.2.1 Asentamiento (NTP 339.035:2022)

El ensayo de asentamiento, según la Norma Técnica Peruana NTP 339.035:2022, tiene como objetivo determinar la fluidez del concreto en estado fresco. Se lleva a cabo midiendo la cantidad de agua necesaria para que la mezcla alcance un determinado asentamiento, que puede ser medida utilizando diferentes métodos, como el cono de Abrams.

Aparatos usados

- Molde de forma tronco cónica de 20 cm de diámetro en la base inferior y 10 cm de diámetro en la base superior Y 30 cm de altura; provisto de agarraderas y aletas de pie.

- Varilla compactadora de acero lisa de 5/8" de diámetro con punta semiesférica y de aproximadamente 60 cm. de longitud, Wincha, Cucharón.

Procedimiento:

- Se prepara una muestra representativa de la mezcla de concreto fresco que se va a ensayar.
- Se coloca un molde cilíndrico de acero de 30 cm de altura y 10 cm de diámetro sobre una superficie plana y horizontal.
- Se llena el molde con la muestra de concreto fresco en tres capas iguales, compactando cada capa mediante 25 golpes de una varilla de acero de 16 mm de diámetro. Se retira el exceso de concreto del molde utilizando una regla o espátula.
- Se coloca el cono de Abrams sobre la superficie del concreto, centrado con respecto al molde, y se sujeta con las manos para evitar que se mueva.
- Se llena el cono con agua en tres capas iguales, cada una de ellas dejando caer el agua desde una altura de 10 cm.
- Se deja reposar el concreto durante 30 segundos después de la última adición de agua al cono de Abrams.
- Se levanta verticalmente el cono de Abrams y se mide la altura de la mezcla de concreto que queda en el molde, en milímetros.
- Se calcula la diferencia entre la altura inicial y la altura final de la mezcla para obtener la compactación del concreto.
- Se repite el ensayo al menos dos veces más para obtener un promedio de las mediciones.

Es importante tener en cuenta que la temperatura del concreto y del agua utilizada en el ensayo debe estar entre 10°C y 35°C para garantizar la precisión del resultado. Además, la muestra de concreto debe ser ensayada dentro de los primeros 30 minutos después de su preparación. Los valores obtenidos de los ensayos de asentamiento se presentan en la tabla 41, mientras que en el gráfico 11 se comparan dichos valores.

Tabla 41
Resultado de ensayos de asentamientos.

a/c	Aditivo %	Asentamiento pulg
0.45	0.00	6.70
	0.85	6.90
	1.00	7.00
	1.25	6.50
	0.00	6.50
0.50	0.85	6.60
	1.00	6.70
	1.25	6.90
	0.00	6.30
0.55	0.85	6.70
	1.00	6.90
	1.25	7.00

Fuente: Elaboración propia.

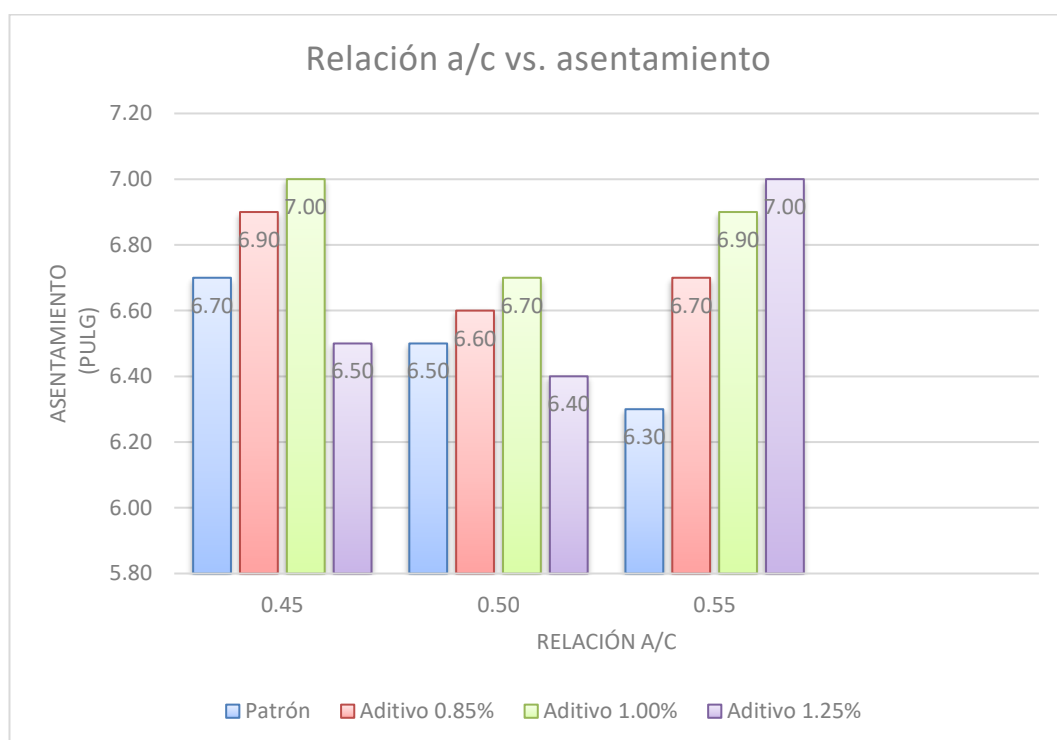


Gráfico 11. Comparación de asentamientos para cada relación a/c.
Fuente: Elaboración propia.

Se pueden encontrar en la tabla 42 los resultados de los asentamientos en pulgadas, así como los porcentajes de variación de estos en comparación con el concreto patrón para una relación a/c de 0.45. La representación gráfica de estos valores está disponible en el gráfico 12.

Tabla 42

Variación de asentamientos respecto al patrón ($a/c = 0.45$).

agua/cemento = 0.45		
Concreto	Asentamiento (pulg)	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	6.70"	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	6.90"	102.99%
C.P. + Aditivo 1.00%	7.00"	104.48%
C.P. + Aditivo 1.25%	6.50"	97.01%

Fuente: Elaboración propia.

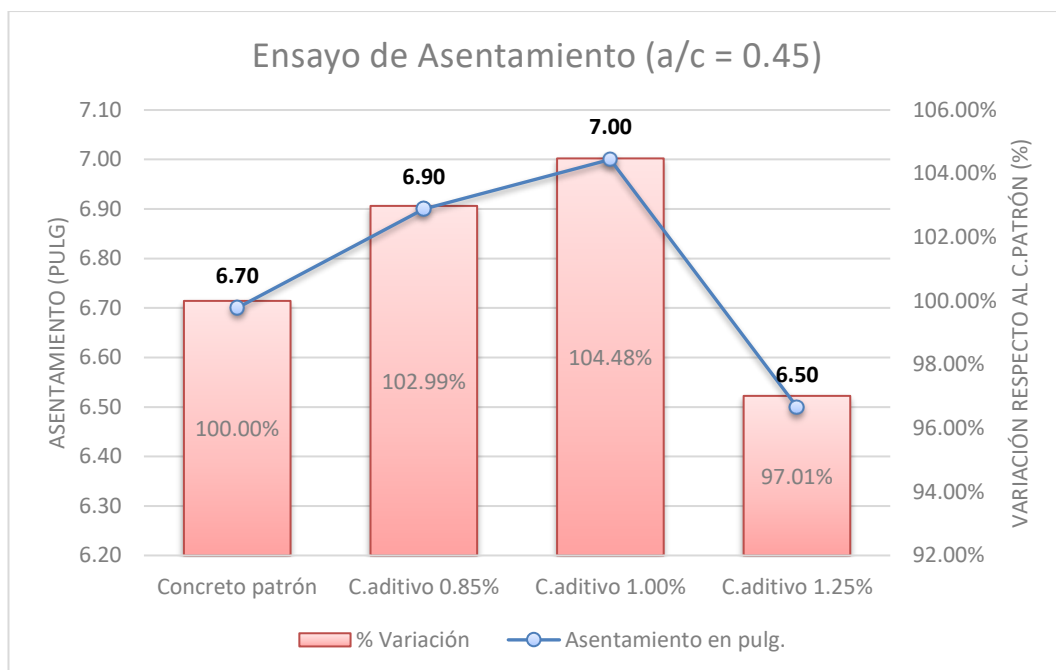


Gráfico 12. Asentamientos en pulgadas y porcentaje para $a/c = 0.45$.

Fuente: Elaboración propia.

Se pueden encontrar en la tabla 43 los resultados de los asentamientos en pulgadas, así como los porcentajes de variación de estos en comparación con el concreto patrón para una relación a/c de 0.50. La representación gráfica de estos valores está disponible en el gráfico 13.

Tabla 43

Variación de asentamientos respecto al patrón ($a/c = 0.50$).

agua/cemento = 0.50		
Concreto	Asentamiento (pulg)	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	6.50"	100.00%

C.P. + Aditivo 0.85%	6.60"	101.54%
C.P. + Aditivo 1.00%	6.70"	103.08%
C.P. + Aditivo 1.25%	6.90"	106.15%

Fuente: Elaboración propia.

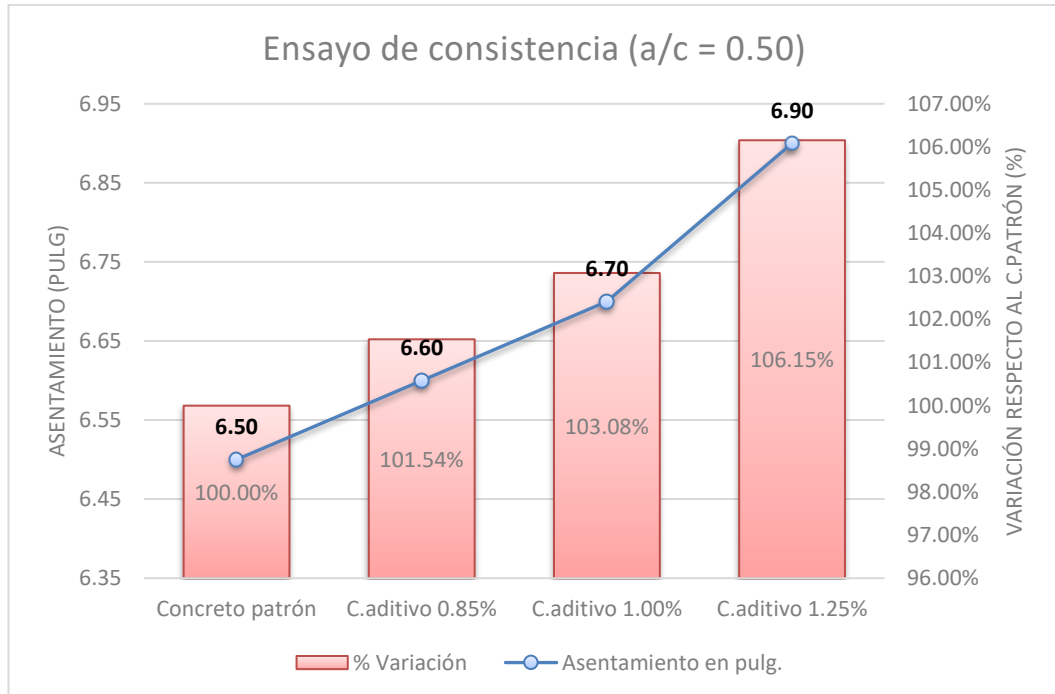


Gráfico 13. Asentamientos en pulgadas y porcentaje para a/c = 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

Se pueden encontrar en la tabla 44 los resultados de los asentamientos en pulgadas, así como los porcentajes de variación de estos en comparación con el concreto patrón para una relación a/c de 0.55. La representación gráfica de estos valores está disponible en el gráfico 14.

Tabla 44
Variación de asentamientos respecto al patrón (a/c = 0.55).

agua/cemento = 0.55		
Concreto	Asentamiento (pulg.)	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	6.30"	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	6.70"	106.35%
C.P. + Aditivo 1.00%	6.90"	109.52%

C.P. + Aditivo 1.25%	7.00"	111.11%
----------------------	-------	---------

Fuente: Elaboración propia.

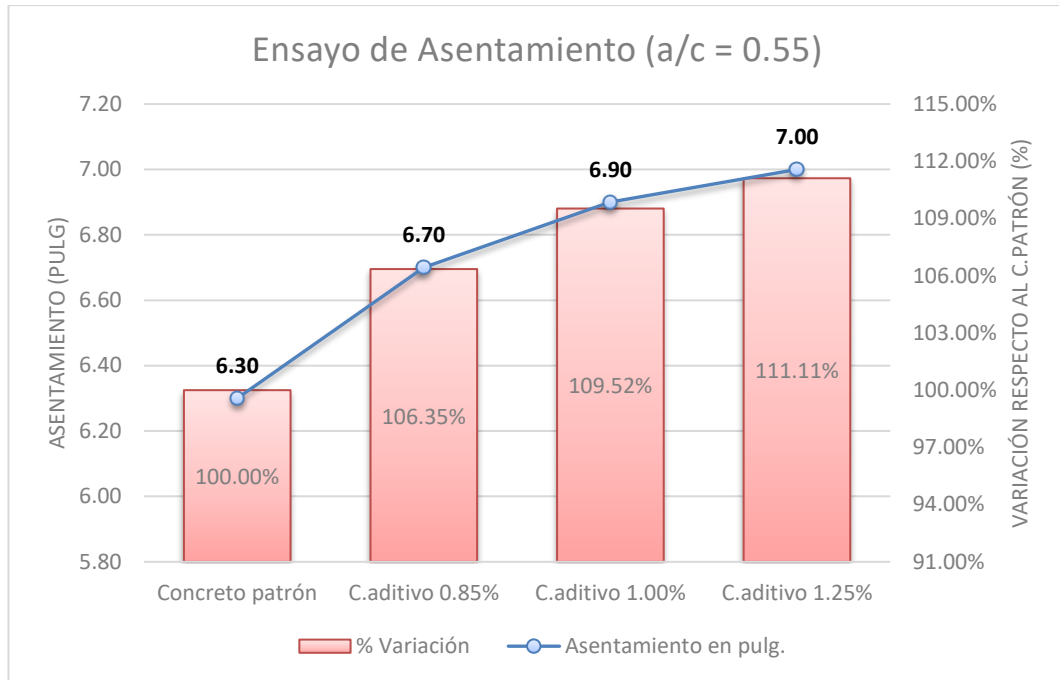


Gráfico 14. Asentamientos en pulgadas y porcentaje para a/c = 0.55.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Peso unitario (NTP 339.046:2019)

El peso unitario del concreto es la masa del concreto por unidad de volumen. Es decir, es el peso total del concreto dividido por su volumen. Se expresa en kg/m^3 .

El peso unitario del concreto depende de varios factores, como la cantidad de agua utilizada en la mezcla, la cantidad y tipo de agregados, la cantidad y tipo de cemento utilizado, así como la presencia de aditivos y otros materiales en la mezcla. El peso unitario típico del concreto varía entre 2200 y 2500 kg/m^3 .

Aparatos usados

- Balanza con aproximación de 45 gr.
- Varilla compactadora lisa de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud, con punta semiesférica de 5/8" de diámetro.
- Recipiente cilíndrico de acero.
- Cucharón, mazo con cabeza de caucho.

El procedimiento para realizar la prueba consiste en:

- Llenar el recipiente con una tercera parte de su capacidad con concreto y compactar cada capa con 25 golpes de la barra compactadora, evitando golpear el fondo y distribuyendo uniformemente sobre la superficie.
- Para la segunda y tercera capa, la barra compactadora debe penetrar aproximadamente 25 mm en la capa subyacente.
- Después de colocar la última capa, se golpea cuidadosamente la superficie exterior del recipiente de 10 a 15 veces con un mazo de cabeza de caucho para eliminar burbujas de aire atrapadas.
- Se enrasa la superficie superior con una placa plana de alisado, teniendo cuidado de dejar el recipiente lleno justo hasta su nivel superior.
- Finalmente, se limpia todo el concreto en exceso y adherido a las paredes exteriores del recipiente y se determina la masa del concreto.

Cálculo

$$P_u = \frac{P_c - P_r}{V_r}$$

Donde:

P_u = Peso unitario del concreto fresco en kg/m^3 .

P_r = Peso del recipiente en kg.

P_c = Peso del recipiente lleno con concreto kg.

V_r = Volumen del recipiente en m^3 .

Luego de llevar a cabo las pruebas correspondientes y recolectar la información necesaria, se procede a organizar los datos en tablas y gráficos para su posterior evaluación.

La tabla 45 presenta los datos obtenidos en comparación con el concreto patrón para la relación agua-cemento de 0.45, mientras que la gráfica 15 muestra la representación visual de estos resultados.

Tabla 45

Variación de pesos unitarios respecto al patrón ($a/c = 0.45$).

agua/cemento = 0.45		
Concreto	Peso Unitario	
	(kg/m^3)	(%)
Concreto Patrón (C.P.)	2358.83	100.00%

C.P. + Aditivo 0.85%	2421.34	102.65%
C.P. + Aditivo 1.00%	2429.81	103.01%
C.P. + Aditivo 1.25%	2448.88	103.82%

Fuente: Elaboración propia.

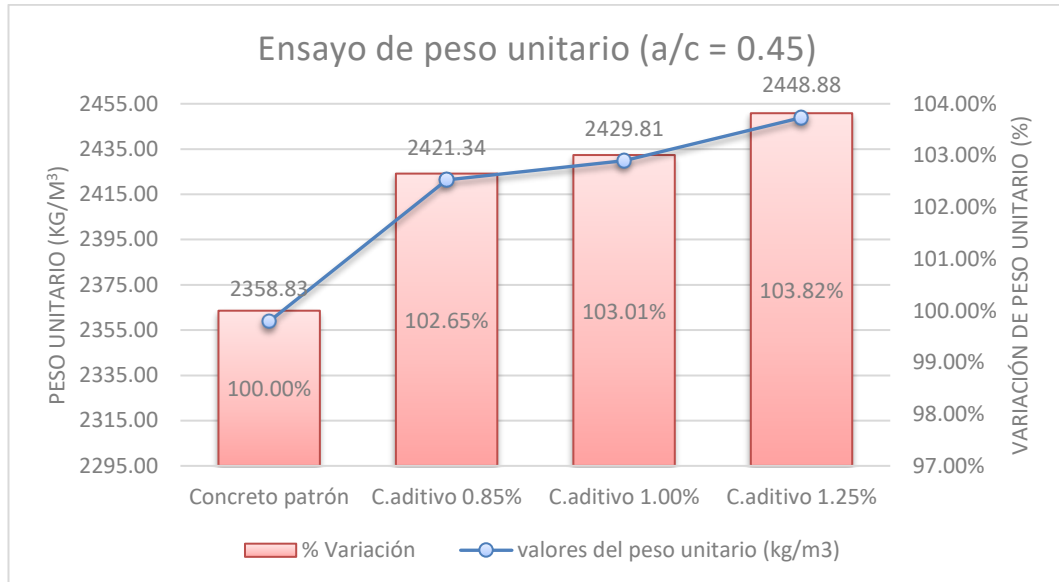


Gráfico 15. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.45$.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 46 presenta los datos obtenidos en comparación con el concreto patrón para la relación agua-cemento de 0.50, mientras que la gráfica 16 muestra la representación visual de estos resultados.

Tabla 46

Variación de pesos unitarios respecto al patrón ($a/c = 0.50$).

agua/cemento = 0.50		
Concreto	Peso Unitario	
	(kg/m³)	(%)
Concreto Patrón (C.P.)	2372.60	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	2406.50	101.43%
C.P. + Aditivo 1.00%	2440.94	102.88%
C.P. + Aditivo 1.25%	2469.88	104.01%

Fuente: Elaboración propia.

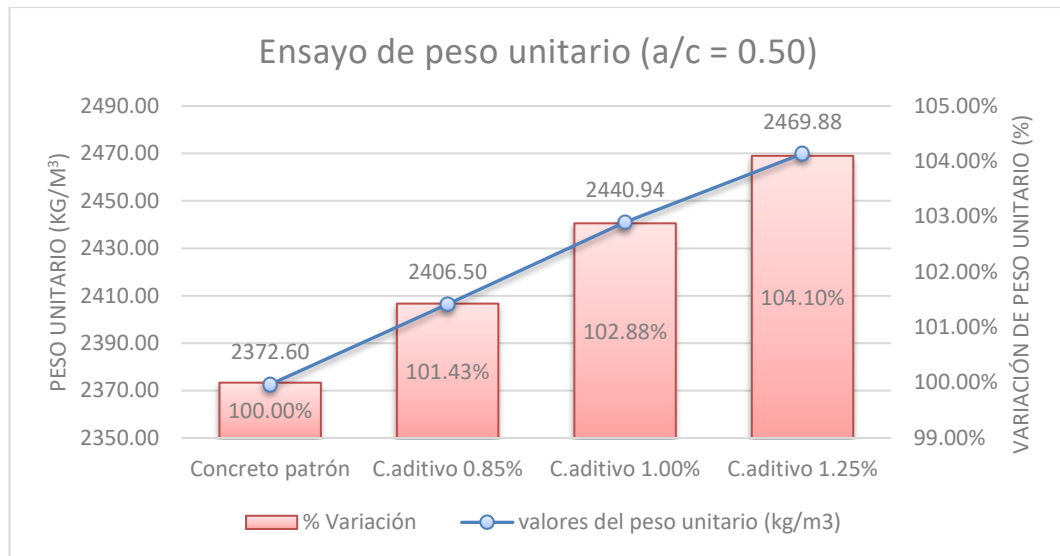


Gráfico 16. Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 47 presenta los datos obtenidos en comparación con el concreto patrón para la relación agua-cemento de 0.55, mientras que la gráfica 17 muestra la representación visual de estos resultados.

Tabla 47

Variación de pesos unitarios respecto al patrón (a/c = 0.55).

agua/cemento = 0.55		
Concreto	Peso Unitario	
	(kg/m³)	(%)
Concreto Patrón (C.P.)	2370.48	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	2415.51	101.90%
C.P. + Aditivo 1.00%	2439.35	102.91%
C.P. + Aditivo 1.25%	2476.43	104.47%

Fuente: Elaboración propia.

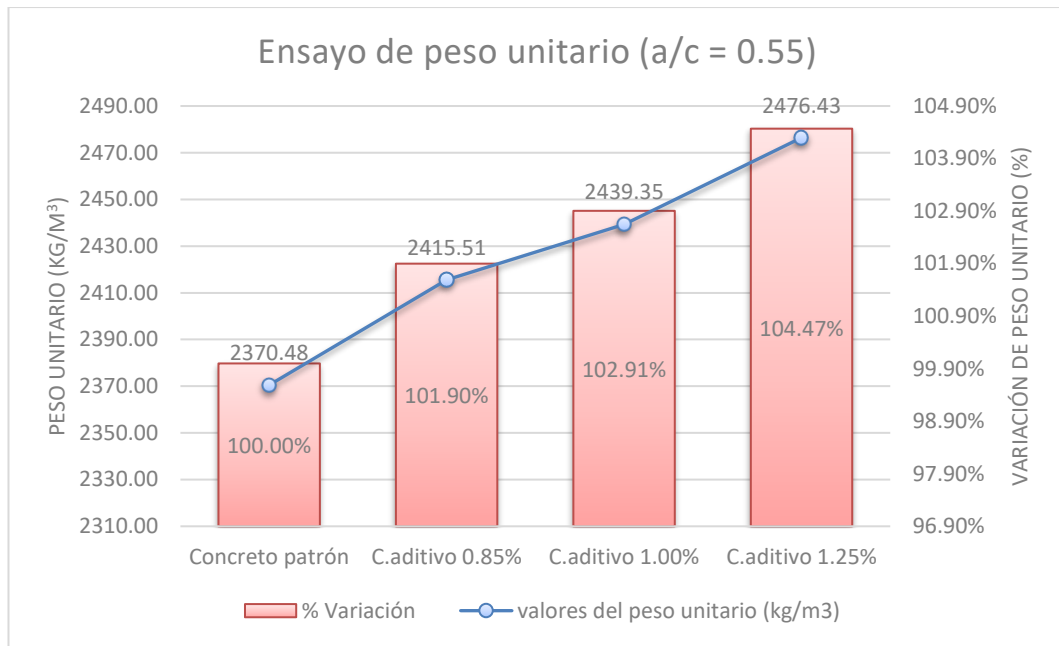


Gráfico 17. Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.55.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Fluidez (NTP 339.085:2016)

El ensayo de fluidez en la mesa de sacudidas es un método utilizado para determinar la consistencia y la capacidad de flujo del concreto fresco.

Aparatos usados

- Se necesita un molde de acero con superficie lisa con forma de tronco de cono, con una base inferior de 250 mm de diámetro, una base superior de 170 mm de diámetro y una altura de 130 mm
- Se requiere de una varilla compactadora recta de acero liso, con un diámetro de 16 mm y una longitud de 600 mm, que tenga una punta semiesférica con un radio de 16 mm, así como también una mesa de sacudidas.

Procedimiento

- El molde se coloca en el centro de la mesa y se llena con concreto fresco hasta la mitad de su volumen.
- Se procede a compactar el concreto con una varilla de acero liso de 16 mm de diámetro, aplicando 25 golpes uniformemente distribuidos en toda el área.

- Luego, se llena el molde en exceso y se aplica nuevamente los 25 golpes, penetrando hasta la primera capa del concreto.
- Después, se enrasa y limpia la superficie del concreto y se retira el molde de manera vertical e inmediata.
- Posteriormente, se eleva la mesa de sacudidas y se deja caer durante 15 veces desde una altura de 12.5 mm en un lapso de 15 segundos, mediante la manivela de la mesa.
- Finalmente, se calcula el porcentaje de aumento del diámetro del concreto restando el diámetro del tronco de cono y midiendo simétricamente 6 veces el diámetro del concreto, con una aproximación de 5mm.

Cálculo

$$Fluidez(\%) = \frac{D - 25}{25} * 100$$

Donde:

D = Diámetro promedio en cm.

Los datos obtenidos del ensayo de fluidez y su diferencia en comparación al concreto patrón para a/c = 0.45 son presentados en la tabla 48. La gráfica 18 muestra la visualización de estos resultados.

Tabla 48

Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón (a/c = 0.45).

agua/cemento = 0.45		
Concreto	FLUIDEZ %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	69.89%	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	78.40%	112.18%
C.P. + Aditivo 1.00%	97.10%	138.93%
C.P. + Aditivo 1.25%	94.70%	135.50%

Fuente: Elaboración propia.

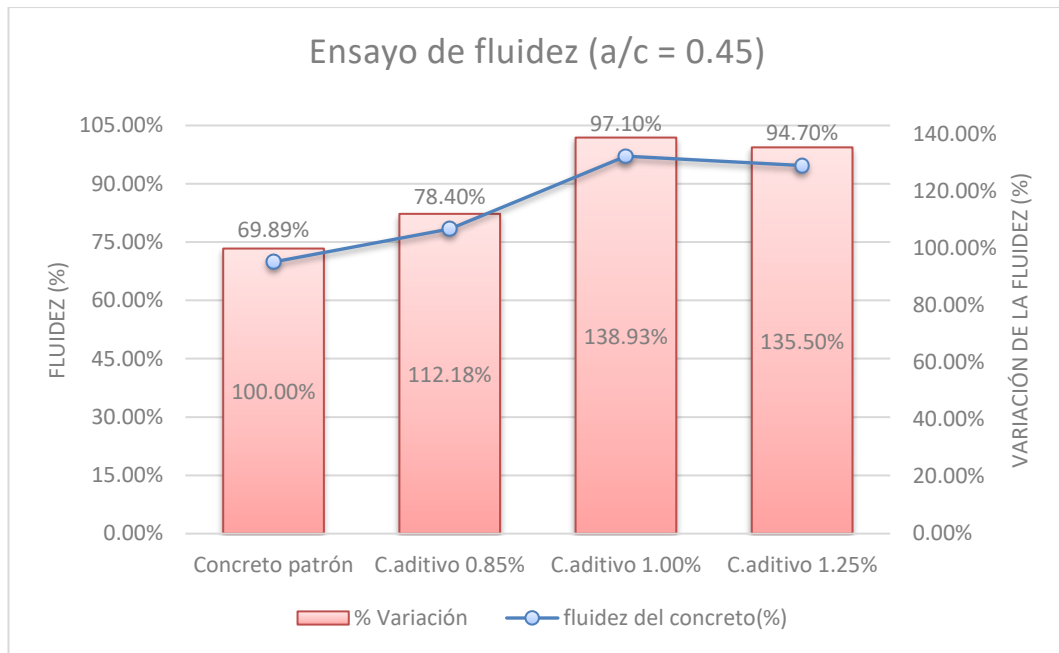


Gráfico 18. Esquema del ensayo de peso unitario para a/c = 0.45.
Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo de fluidez y su diferencia en comparación al concreto patrón para a/c = 0.50 son presentados en la tabla 49. La gráfica 19 muestra la visualización de estos resultados.

Tabla 49

Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón (a/c = 0.50).

agua/cemento = 0.50		
Concreto	FLUIDEZ %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	70.00%	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	81.70%	116.71%
C.P. + Aditivo 1.00%	106.20%	151.71%
C.P. + Aditivo 1.25%	77.30%	110.43%

Fuente: Elaboración propia.

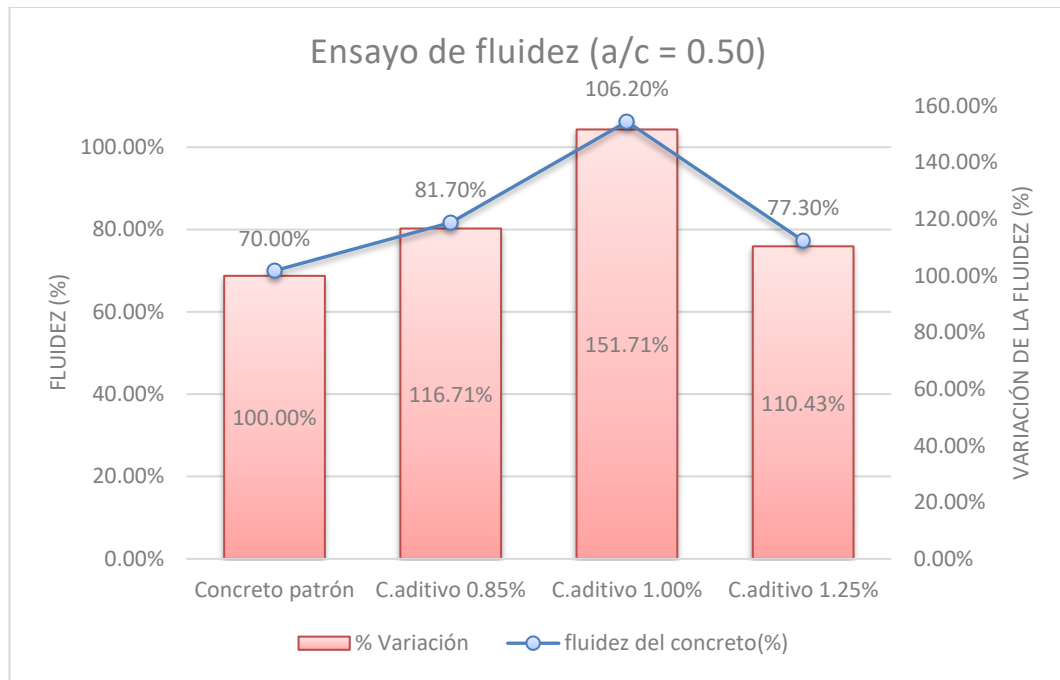


Gráfico 19. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.50$.
Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos del ensayo de fluidez y su diferencia en comparación al concreto patrón para $a/c = 0.55$ son presentados en la tabla 50. La gráfica 20 muestra la visualización de estos resultados.

Tabla 50

Variación porcentual de la fluidez respecto al patrón ($a/c = 0.55$).

agua/cemento = 0.55		
Concreto	FLUIDEZ %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	73.10%	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	85.70%	117.24%
C.P. + Aditivo 1.00%	118.40%	161.97%
C.P. + Aditivo 1.25%	75.00%	102.60%

Fuente: Elaboración propia.

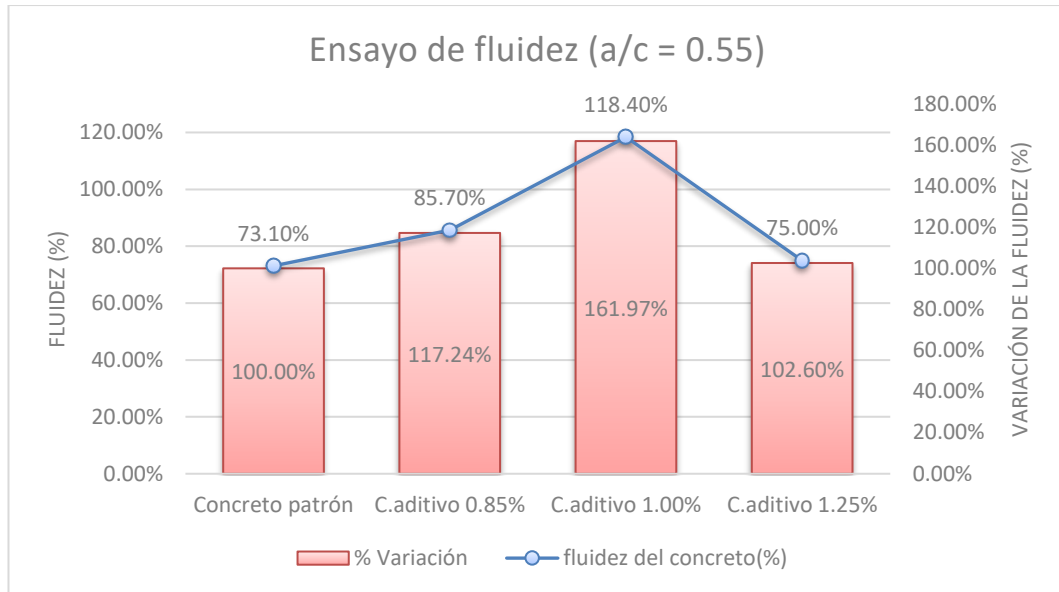


Gráfico 20. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.55$.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Contenido de aire (NTP 339.083:2019)

El ensayo de contenido de aire se realiza mediante el uso de la Olla de Washington. Esta herramienta consiste en un recipiente de metal que tiene una capacidad de 4 litros y una tapa hermética. El procedimiento implica la colocación de una muestra de concreto fresco en la olla y luego se realiza una serie de golpes en la misma para eliminar el aire atrapado.

Comúnmente, se observan en un intervalo que abarca desde el 1% hasta el 3%.

Para este ensayo se utilizaron los siguientes materiales:

- Olla de Washington
- Varilla para apisonar 5/8"
- Regla para enrasar
- Bandeja
- Martillo goma

Procedimiento:

- Primero se prepara la mezcla y se coloca en la bandeja correspondiente. Luego, se vierte la mezcla en el molde hasta llenar 1/3 de su volumen y se aplica 25 golpes en cada capa hasta alcanzar la capa inferior, utilizando un

martillo de goma para eliminar el aire con la varilla insertada. En la última capa, se enrasa y limpia la superficie para colocar la tapa de la olla de Washington.

- Se procede a tapar la olla de Washington de forma precisa, asegurándose de cerrar la válvula de purga de aire.
- Se procede a llenar la olla de agua por una llave hasta que el agua comience a rebasar por la otra llave, y se da unos golpes suaves para que el agua se asiente en las cavidades del concreto.
- Luego, se introduce aire en la cámara para que se refleje en el manómetro, y se estabiliza la aguja del manómetro golpeando y cerrando las llaves para sellar completamente la olla.

La tabla 51 presenta los resultados de las diferencias del concreto con aditivo en comparación con el concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.45. La gráfica 21 muestra una representación visual de estos valores.

Tabla 51

Variación del contenido de aire respecto al patrón (a/c = 0.45).

agua/cemento = 0.45		
Concreto	contenido de aire %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	0.80	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	0.90	112.50%
C.P. + Aditivo 1.00%	1.10	137.50%
C.P. + Aditivo 1.25%	1.30	162.50%

Fuente: Elaboración propia.

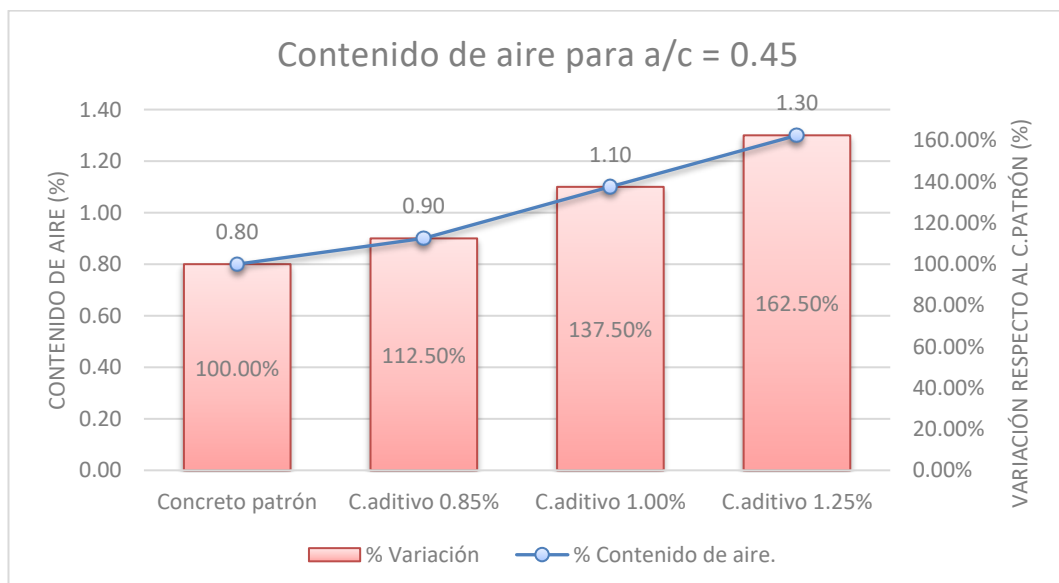


Gráfico 21. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.45$.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 52 presenta los resultados de las diferencias del concreto con aditivo en comparación con el concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.50. La gráfica 22 muestra una representación visual de estos valores.

Tabla 52

Variación del contenido de aire respecto al patrón ($a/c = 0.50$).

agua/cemento = 0.50		
Concreto	contenido de aire %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	0.90	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	1.30	144.44%
C.P. + Aditivo 1.00%	1.60	177.78%
C.P. + Aditivo 1.25%	1.70	188.89%

Fuente: Elaboración propia.

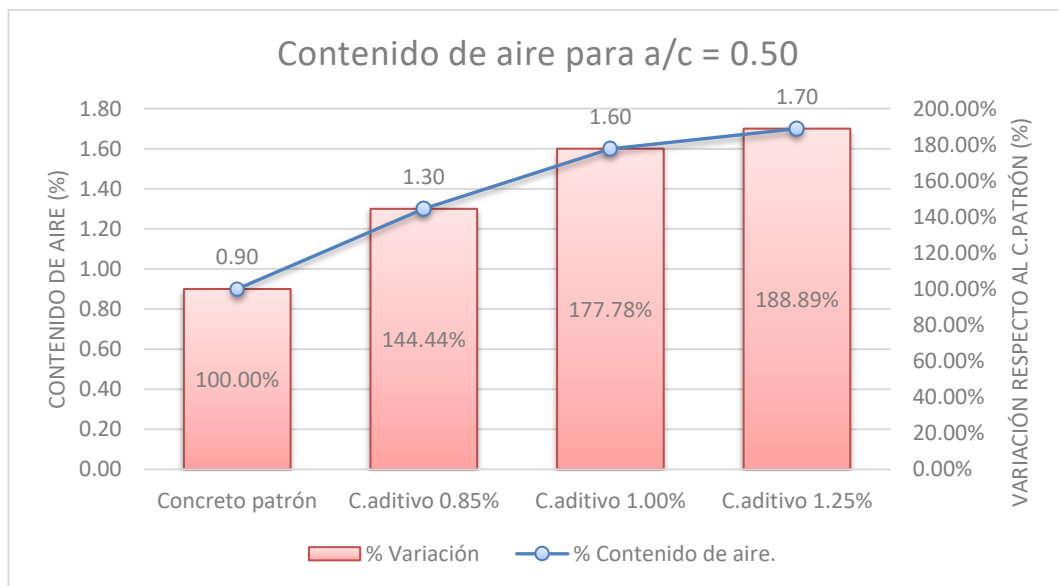


Gráfico 22. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.50$.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 53 presenta los resultados de las diferencias del concreto con aditivo en comparación con el concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.55. La gráfica 23 muestra una representación visual de estos valores.

Tabla 53

Variación del contenido de aire respecto al patrón ($a/c = 0.55$).

agua/cemento = 0.55		
Concreto	contenido de aire %	Variación respecto al concreto patrón

Concreto Patrón (C.P.)	0.90	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	1.10	122.22%
C.P. + Aditivo 1.00%	1.40	155.56%
C.P. + Aditivo 1.25%	1.71	190.00%

Fuente: Elaboración propia.

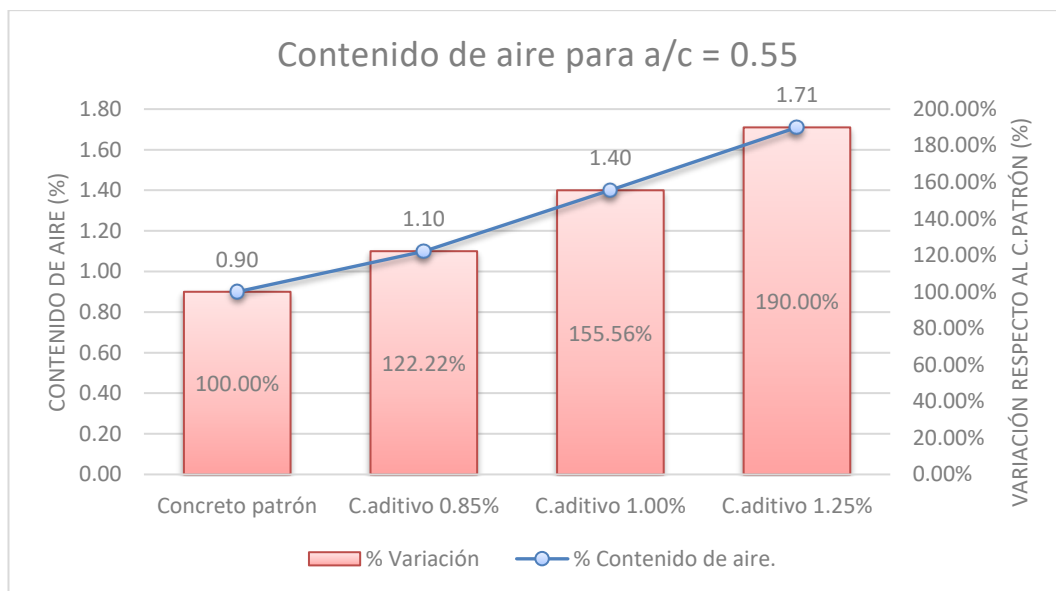


Gráfico 23. Esquema del ensayo de peso unitario para $a/c = 0.55$.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Exudación (NTP 339.077:2020)

La exudación se refiere a la formación de una capa en la superficie del concreto fresco debido a la separación de partículas y al movimiento del agua hacia la superficie. Cuanto mayor sea la exudación, mayor será la relación a/c y esto afectará negativamente la durabilidad del concreto. Los materiales para la realización del ensayo de exudación son los siguientes:

- Un contenedor con diámetro inferior a 255 mm y una altura de 280 mm.
- Una balanza precisa con medición en gramos, una pipeta para extraer agua.
- Una varilla con un diámetro de 5/8" y longitud de 60 cm, con puntas redondeadas.

Procedimiento:

El recipiente se llena de la misma manera que se hizo en el cálculo del peso unitario. Una vez nivelado, se registra la masa y la hora, y se cubre para evitar la evaporación. Para eliminar el agua acumulada en la superficie, se inclina

el recipiente cuidadosamente utilizando un taco de 50 mm de espesor durante 2 minutos, y se devuelve el agua a su lugar. Este proceso se repite cada 10 minutos durante los primeros 40 minutos y luego cada 30 minutos hasta que se detenga la exudación, registrando la última hora de extracción.

Fórmula:

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{D}{C} * 100$$

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

C (gr): masa de agua en la muestra de ensayo

M (kg): masa total de la mezcla

W (kg): masa neta del agua en la mezcla

S (gr): masa de la muestra

D (gr): masa del agua exudada

Los resultados del ensayo de exudación y sus variaciones con respecto al concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.45 se presentan en la Tabla 54. La representación gráfica de estos valores se muestra en la gráfica 24.

Tabla 54

Variación de la exudación respecto al patrón (a/c = 0.45).

agua/cemento = 0.45		
Concreto	Exudación %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	0.83	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	0.08	9.23%
C.P. + Aditivo 1.00%	0.06	7.24%
C.P. + Aditivo 1.25%	0.02	2.48%

Fuente: Elaboración propia.

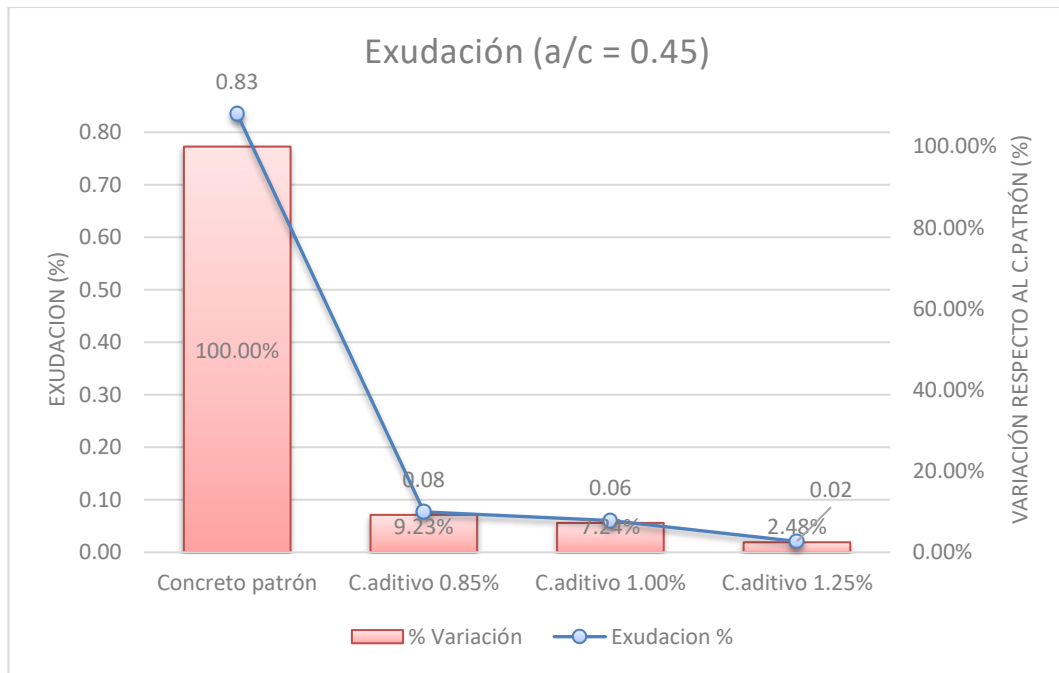


Gráfico 24. Representación del ensayo de exudación para a/c = 0.45.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de exudación y sus variaciones con respecto al concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.50 se presentan en la tabla 55. La representación gráfica de estos valores se muestra en la gráfica 25.

Tabla 55

Variación de la exudación respecto al patrón (a/c = 0.50).

agua/cemento = 0.50		
Concreto	Exudación %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	1.04	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	0.05	5.03%
C.P. + Aditivo 1.00%	0.02	1.92%
C.P. + Aditivo 1.25%	0.02	1.50%

Fuente: Elaboración propia.

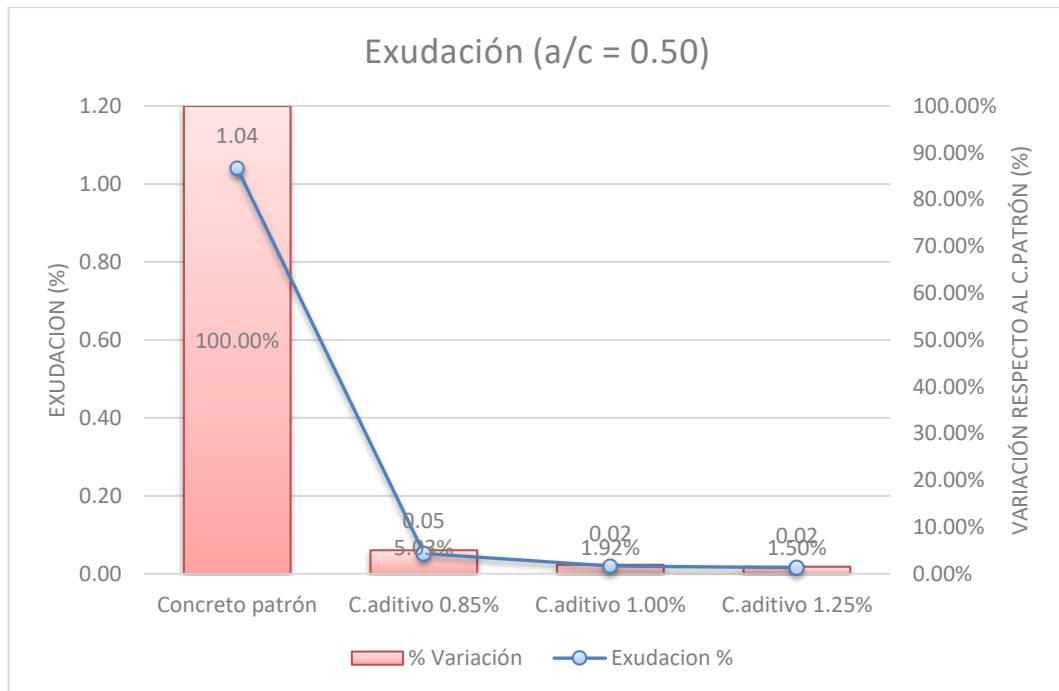


Gráfico 25. Representación del ensayo de exudación para a/c = 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de exudación y sus diferencias en relación al concreto patrón para una relación agua/cemento de 0.55 se presentan en la tabla 56. La representación gráfica de estos valores se muestra en la gráfica 26.

Tabla 56

Variación de la exudación respecto al patrón (a/c = 0.55).

agua/cemento = 0.55		
Concreto	Exudación %	Variación respecto al concreto patrón
Concreto Patrón (C.P.)	0.94	100.00%
C.P. + Aditivo 0.85%	0.12	13.09%
C.P. + Aditivo 1.00%	0.09	9.92%
C.P. + Aditivo 1.25%	0.04	4.61%

Fuente: Elaboración propia.

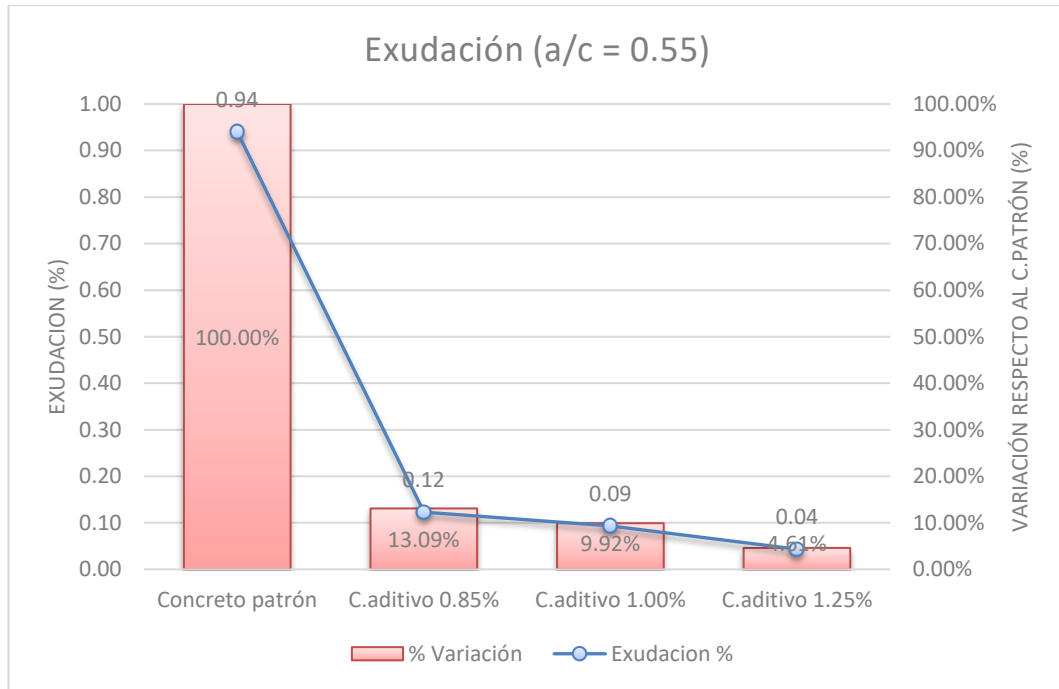


Gráfico 26. Representación del ensayo de exudación para a/c = 0.55.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.6 Tiempo de fraguado (NTP 339.082:2017)

A medida que transcurre el tiempo, el concreto comienza a volverse más rígido, lo que provoca la pérdida de su capacidad de ser moldeable y, por ende, marca el comienzo del proceso de fraguado.

El estado de fragua final de la mezcla de concreto se alcanza cuando la plasticidad llega a cero.

Se utilizaron los siguientes materiales para llevar a cabo el ensayo:

- Un tamiz con una apertura de 4.76 mm
- Un recipiente con un diámetro interior de 15 cm y una altura interior de 15 cm.
- Un equipo hidráulico equipado con un medidor de presión.
- Agujas cilíndricas con áreas de contacto de 0.025, 0.050, 0.10, 0.25, 0.50 y 1.0 pulgadas cuadradas.

Procedimiento:

Para tamizar una muestra de concreto recién mezclado, se debe pasar por un tamiz hasta obtener un volumen suficiente para llenar el recipiente previamente

humedecido. Luego, se debe llenar el recipiente dando pequeños golpes en el borde para eliminar las burbujas y obtener una superficie nivelada.

Durante el ensayo, se debe retirar el agua que se exuda cada vez que se realiza una penetración con las agujas. Se aplica una fuerza uniforme hasta que la aguja penetre 2.5 cm en un lapso de 10 segundos. A medida que el concreto va endureciendo, se cambia la aguja por una de menor área. Durante todo el proceso, se registran datos de fuerza, resistencia, área de la aguja y la hora.

Este procedimiento se repetirá hasta que la aguja de menor área alcance una resistencia penetrada de al menos 4000 lb/pulg².

Los resultados correspondientes al concreto de referencia con una relación agua-cemento (a/c) de 0.45 se presentan en la tabla 57. Estos valores se encuentran representados en la gráfica 27.

Tabla 57

Variación del tiempo de fragua respecto al patrón (a/c = 0.45).

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	241	320	100.00	100.00
	C.P. + Aditivo 0.85%	295	386	122.24	120.52
	C.P. + Aditivo 1.00%	325	412	134.78	128.76
	C.P. + Aditivo 1.25%	370	446	153.44	139.44

Fuente: Elaboración propia.

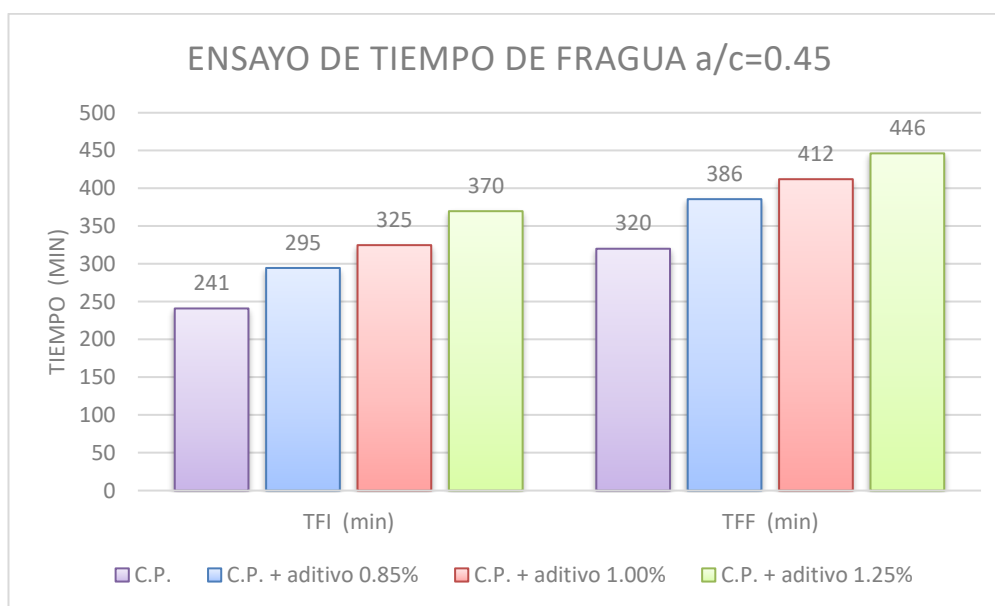


Gráfico 27. Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.45$.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados correspondientes al concreto de referencia con una relación agua-cemento (a/c) de 0.50 se presentan en la tabla 58. Estos valores se encuentran representados en la gráfica 28.

Tabla 58

Variación del tiempo de fragua respecto al patrón ($a/c = 0.50$).

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	257	338	100	100
	C.P. + Aditivo 0.85%	313	397	121.53	117.41
	C.P. + Aditivo 1.00%	332	417	129.17	123.40
	C.P. + Aditivo 1.25%	378	452	146.73	133.65

Fuente: Elaboración propia.

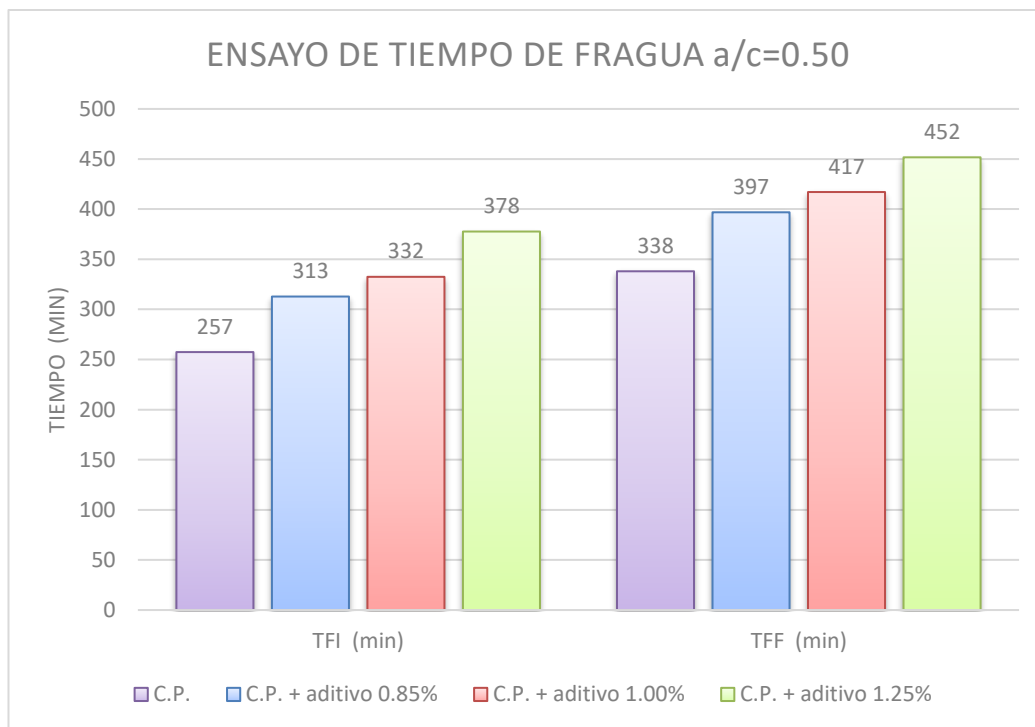


Gráfico 28. Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.50$.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados correspondientes al concreto de referencia con una relación agua-cemento (a/c) de 0.55 se presentan en la tabla 59. Estos valores se encuentran representados en la gráfica 29.

Tabla 59

Variación del tiempo de fragua respecto al patrón ($a/c = 0.55$).

RESULTADOS DE ENSAYO DE TIEMPO DE FRAGUA					
relación a/c	Diseño	TFI (min)	TFF (min)	variación (%) FI	variación (%) FF
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	271	371	100	100
	C.P. + Aditivo 0.85%	320	402	118.06	108.43
	C.P. + Aditivo 1.00%	339	423	125.00	113.91
	C.P. + Aditivo 1.25%	389	458	143.66	123.54

Fuente: Elaboración propia.

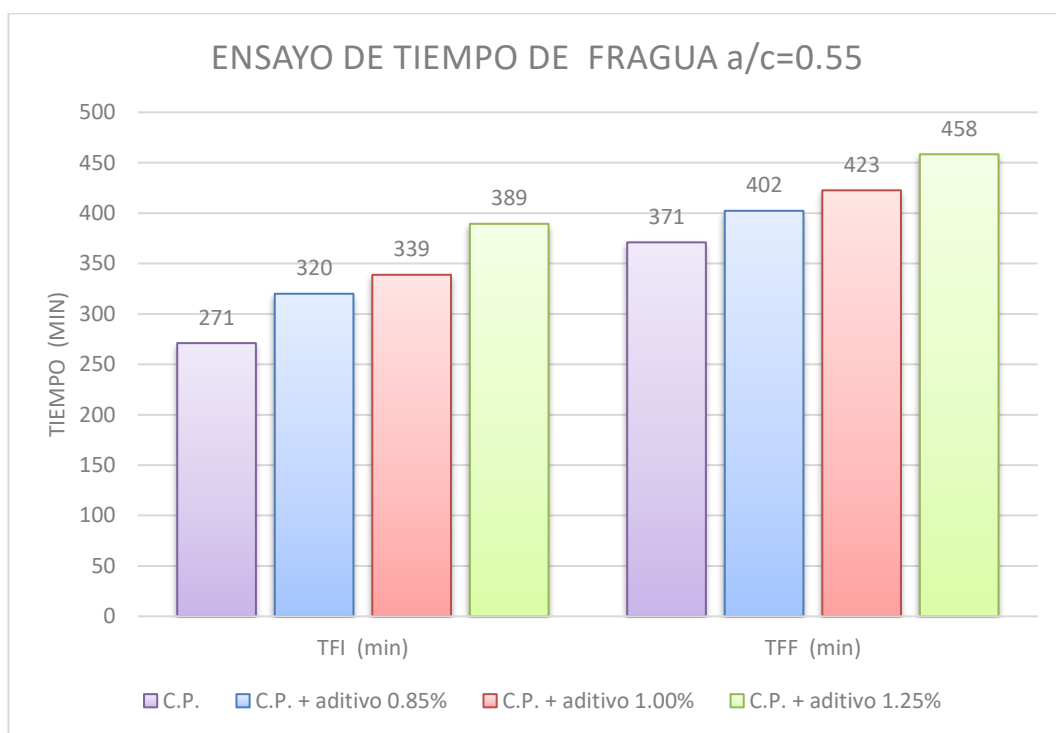


Gráfico 29. Representación del ensayo de tiempo de fragua para $a/c = 0.55$.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

Los ensayos del concreto en estado endurecido se realizan para evaluar la calidad y las propiedades mecánicas del concreto después de que ha pasado por el proceso de fraguado y endurecimiento. Estos ensayos son fundamentales para asegurar la durabilidad y el rendimiento estructural del concreto en diferentes aplicaciones.

Los ensayos realizados a la mezcla de concreto en estado endurecido son las siguientes.

- Resistencia a la compresión axial, Resistencia a la tracción diametral.

6.3.1 Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034:2021)

En este ensayo, se someten especímenes de concreto a una carga compresiva hasta su fracaso. La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad del concreto para resistir cargas de compresión y es uno de los parámetros más importantes para el diseño estructural. Este ensayo se realizó para las edades de 7, 14 y 28 días. El gráfico 30 muestra un esquema del ensayo.

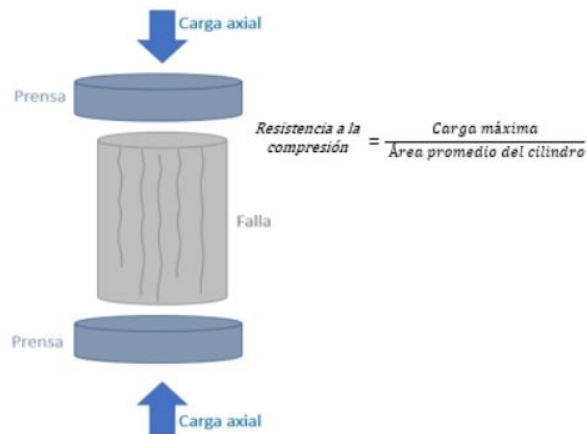


Gráfico 30. Representación del ensayo a la compresión axial.
Fuente: Elaboración propia.

La fórmula para calcular la resistencia a la compresión es la siguiente:

$$R_c = \frac{4 * P}{\pi * D^2}$$

Donde:

R_c (kg/cm^2): resistencia a la compresión

P (kg): carga de rotura

D (cm): diámetro promedio de la probeta

La tabla 60 exhibe los resultados y el progreso de las resistencias a la compresión axial a los 7, 14 y 28 días para distintas relaciones de agua/cemento (a/c), junto con la adición de diferentes porcentajes de aditivos (0.85%, 1.00% y 1.25%) al concreto de referencia.

Tabla 60

Resistencias a compresión axial a edades de 7, 14 y 28 días.

a/c	% de aditivo (días)	Resistencia de concreto patrón (kg/cm^2) vs % de aditivo		
		7 días	14 días	28 días

0.45	0.00	330.10	345.25	373.25
	0.85	534.34	551.90	639.04
	1.00	545.17	580.09	655.70
	1.25	655.93	675.60	703.46
0.50	0.00	299.77	345.18	361.32
	0.85	366.82	392.57	456.74
	1.00	557.61	578.32	610.58
	1.25	564.69	592.38	634.93
0.55	0.00	293.06	328.92	335.85
	0.85	344.34	353.58	442.91
	1.00	448.93	478.41	527.29
	1.25	546.27	569.26	623.59

Fuente: Elaboración propia.

En las gráficas 31, 32 y 33 se presenta el comportamiento de estos valores.

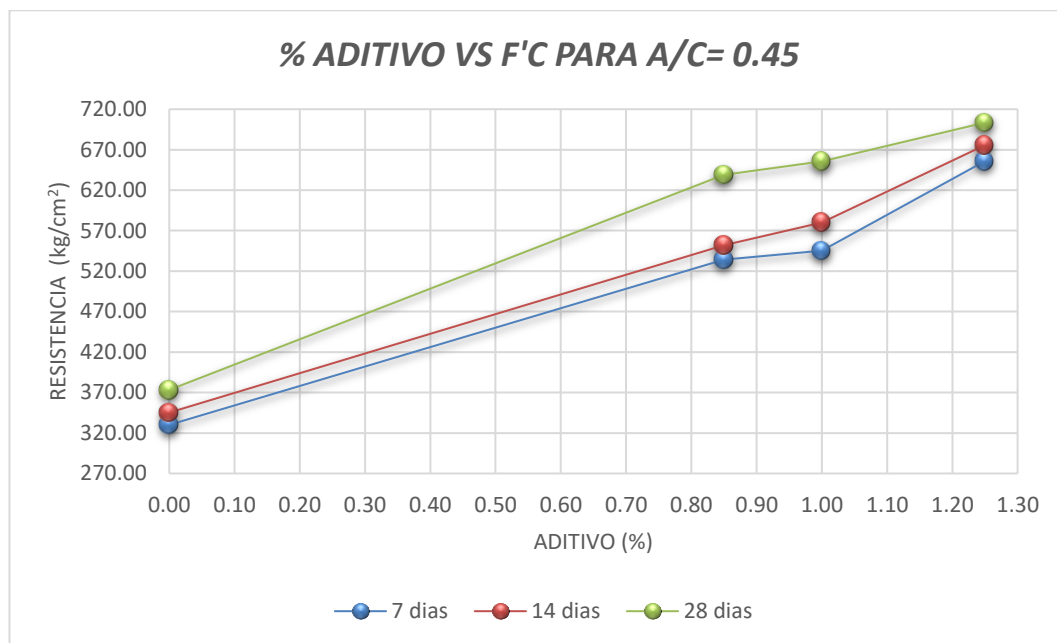


Gráfico 31. Resistencia a la compresión axial con a/c= 0.45.

Fuente: Elaboración propia.

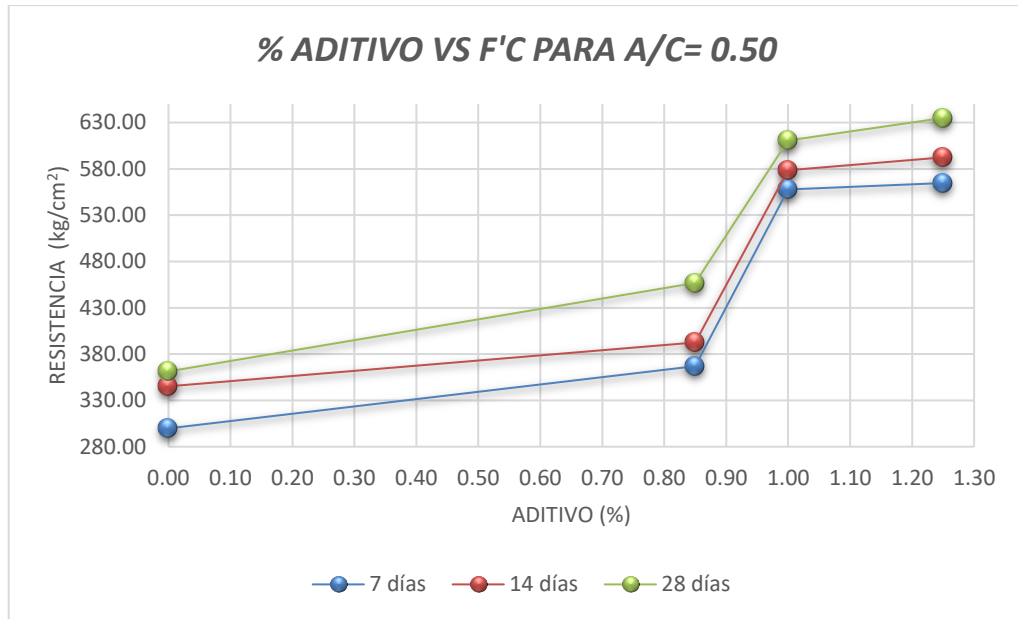


Gráfico 32. Resistencia a la compresión axial con a/c = 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

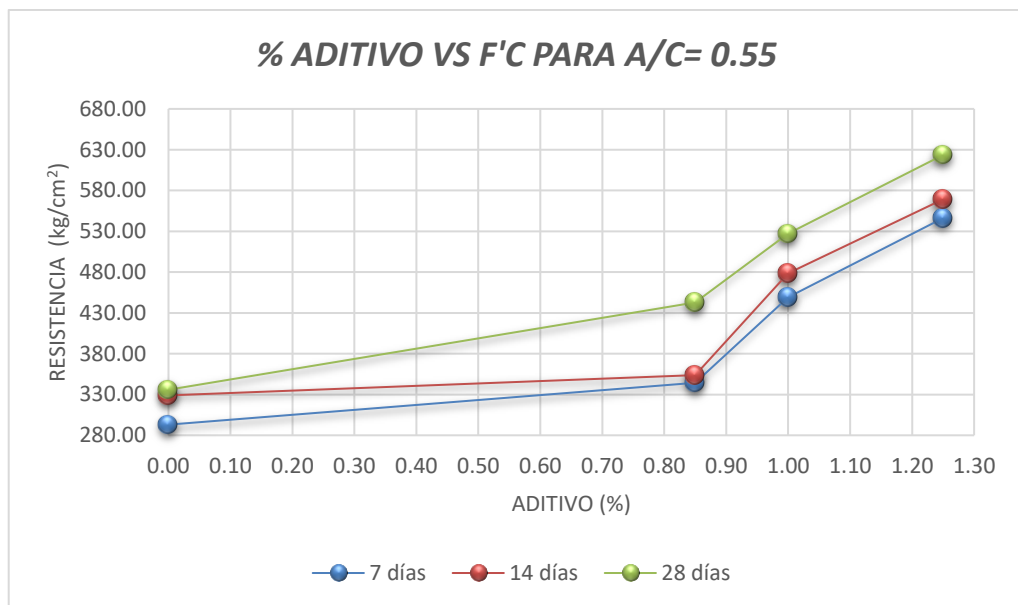


Gráfico 33. Resistencia a la compresión axial con a/c = 0.55.
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 61 se presentarán los resultados de la resistencia a la compresión axial del concreto con diferentes relaciones a/c (0.45, 0.50 y 0.55) y dosificaciones de aditivo, medidos a los 28 días.

Tabla 61

Resistencia a la compresión a los 28 días.

a/c	Resistencia a los 28 días (kg/cm²)			
	Concreto Patrón (C.P.)	C.P. + aditivo 0.85%	C.P. + aditivo 1.00%	C.P. + aditivo 1.25%

0.45	373.25	639.04	655.70	703.46
0.50	361.32	456.74	610.58	634.93
0.55	335.85	442.91	527.29	623.59

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos anteriores, se generará la gráfica 34 que permitirá comparar las resistencias obtenidas a los 28 días para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55.

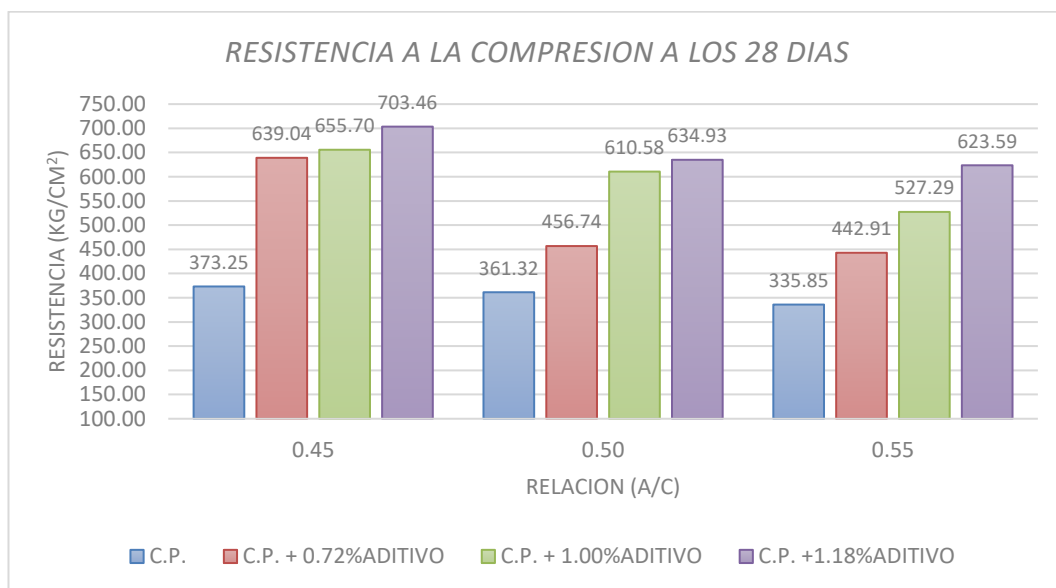


Gráfico 34. Análisis comparativo de resistencias a compresión a 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 62 se presenta la variación porcentual de la resistencia a la compresión en diferentes edades, en relación a la adición de aditivos. Se tomará el valor de resistencia del concreto de referencia como 100% para cada edad de rotura, y los demás valores se expresarán como porcentajes en función de este valor de referencia.

Tabla 62

Variación porcentual de la resistencia a través de las edades.

VARIACIÓN PORCENTUAL DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%)					
a/c	Edad (días)	Concreto Patrón (C.P.)	C.P. + aditivo 0.85%	C.P. + aditivo 1.00%	C.P. + aditivo 1.25%
0.45	7	100.00	161.87	165.15	198.71
	14	100.00	159.86	168.02	195.68
	28	100.00	171.21	175.67	188.47
0.50	7	100.00	122.37	186.01	188.37
	14	100.00	113.73	167.54	171.61
	28	100.00	126.41	168.99	175.73

	7	100.00	117.50	153.19	186.40
0.55	14	100.00	107.50	145.45	173.07
	28	100.00	131.88	157.00	185.68

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla anterior se mostrarán las gráficas 35, 36 y 37 que compararán la variación porcentual de todas las resistencias obtenidas a los 28 días para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55.

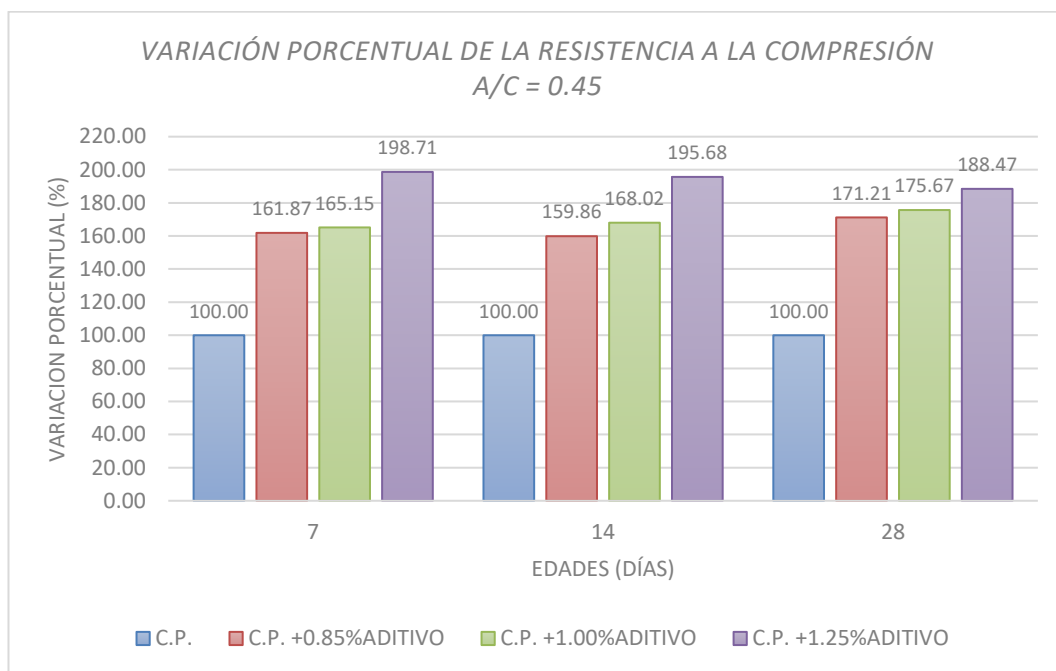


Gráfico 35. Diferencia porcentual de la resistencia para la relación a/c=0.45.

Fuente: Elaboración propia.

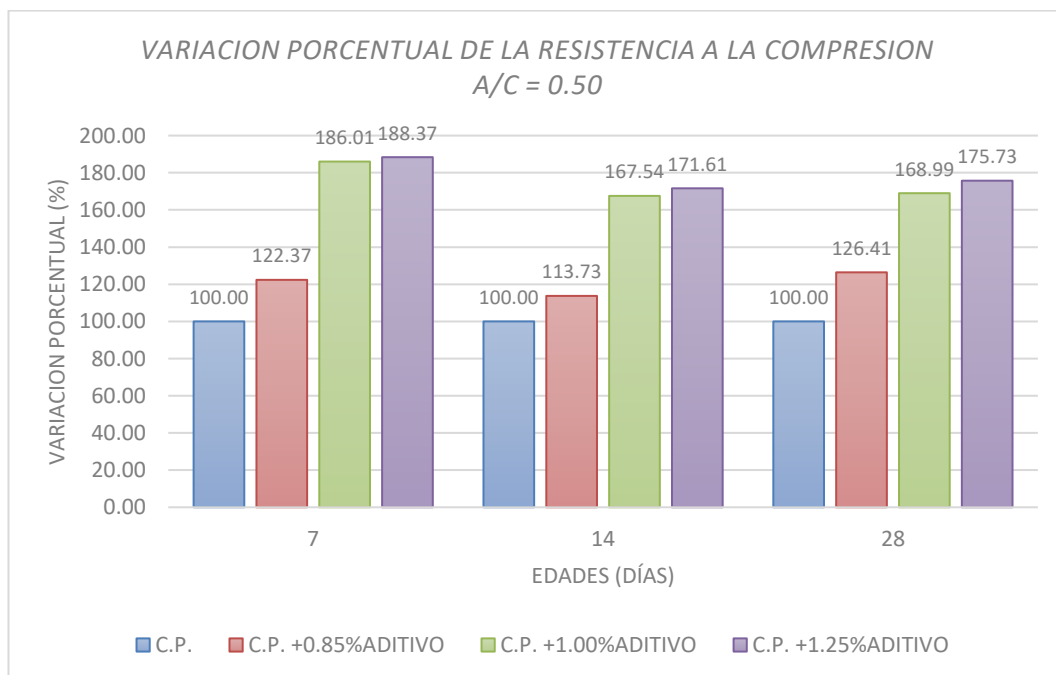


Gráfico 36. Diferencia porcentual de la resistencia para la relación $a/c=0.50$.
Fuente: Elaboración propia.

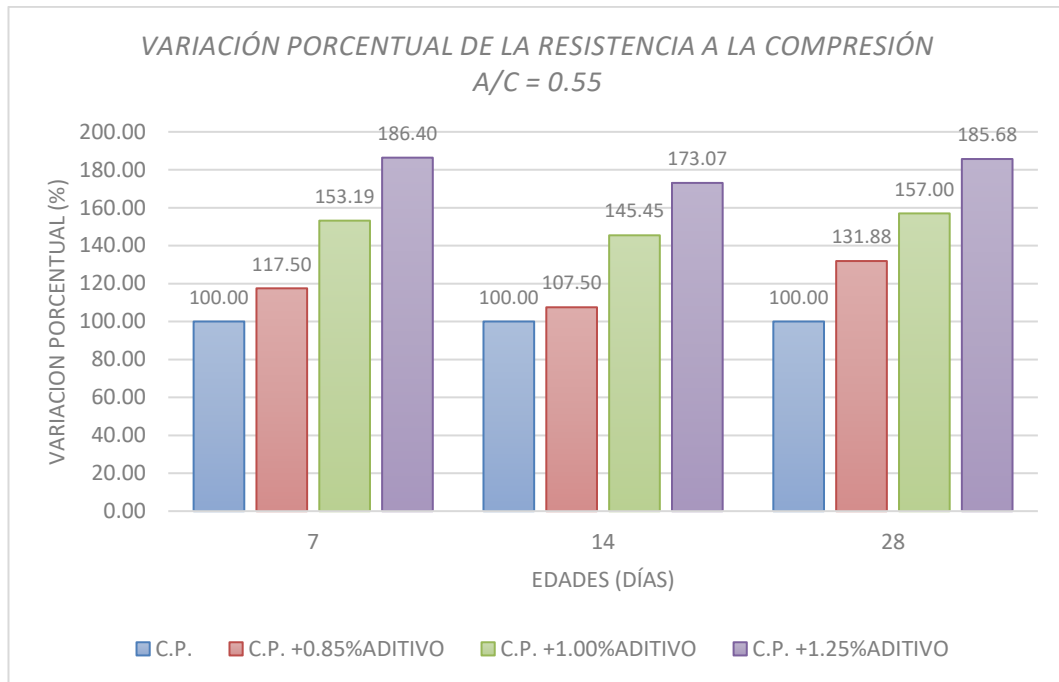


Gráfico 37. Diferencia porcentual de la resistencia para la relación $a/c=0.55$.
Fuente: Elaboración propia.

6.3.2 Resistencia a la tracción diametral (NTP 339.084:2012)

En este ensayo, se utiliza el método brasileño para evaluar la resistencia del concreto en compresión diametral. Consiste en romper la probeta de concreto colocada entre dos platos de una máquina de ensayo a compresión, pero en este caso, se emplean dos piezas de material suave, como triplay o corcho, en contacto con los extremos diametrales de la probeta. Esta técnica garantiza un mejor reparto de las cargas durante el ensayo.

En el marco de esta tesis, se llevaron a cabo pruebas en tres probetas a los 28 días de edad. Para calcular la resistencia a la compresión diametral, se empleó una fórmula específica que toma en cuenta las dimensiones y la carga aplicada durante el ensayo. Esto permitió obtener resultados precisos sobre la capacidad del concreto para resistir la compresión en una dirección diametral.

El método brasileño de ensayo de compresión diametral es una técnica ampliamente utilizada en la evaluación de la resistencia del concreto en condiciones específicas. Su aplicación en esta investigación proporcionó información relevante sobre las propiedades mecánicas del concreto y contribuyó

a la comprensión de su comportamiento en estado endurecido. Donde la fórmula para hallar la comprensión diametral es la siguiente:

$$Q = 2 * \frac{P}{\pi * D * L}$$

Donde:

- Q (kg/cm²): Resistencia a la tracción
- P (kg): Carga de rotura
- D (cm): Diámetro de probeta ensayada
- L (cm): Longitud de la probeta cilíndrica

En la tabla 63 se exhibirán los resultados de los ensayos de comprensión diametral llevados a cabo en el laboratorio para todas las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, junto con las dosificaciones de aditivos correspondientes a los 28 días. Además, se presentará la variación porcentual de dichos resultados.

Tabla 63

Resistencia a la tracción diametral y su variación porcentual.

RESULTADOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL			
relación a/c	Diseño	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	variación (%)
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	43.52	100.00
	C.P. + aditivo 0.85%	53.32	122.52
	C.P. + aditivo 1.00%	54.83	125.99
	C.P. + aditivo 1.25%	58.79	135.09
0.5	Concreto Patrón (C.P.)	41.17	100.00
	C.P. + aditivo 0.85%	46.14	112.07
	C.P. + aditivo 1.00%	52.80	128.25
	C.P. + aditivo 1.25%	53.84	130.77
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	36.76	100.00
	C.P. + aditivo 0.85%	43.98	119.64
	C.P. + aditivo 1.00%	49.59	134.90
	C.P. + aditivo 1.25%	50.47	137.30

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado, en el gráfico 38 siguiente se mostrará la comparación de los valores de ensayo de resistencia a la tracción diametral.

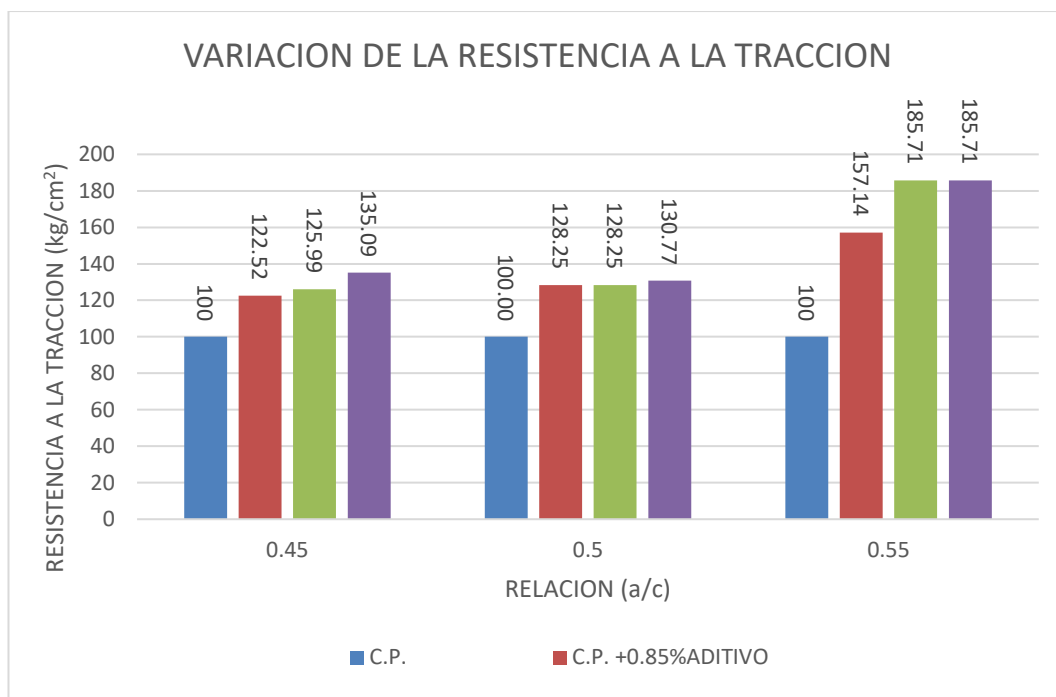


Gráfico 38. Diferencia porcentual de las resistencias a tracción.
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VII: Análisis de los Resultados

Se examinarán los resultados de los ensayos llevados a cabo en los agregados finos y gruesos, así como en el concreto en su estado fresco y endurecido. Se analizarán diferentes proporciones agua/cemento, que incluyen relaciones de 0.45, 0.50 y 0.55, y se considerarán distintas dosificaciones de aditivos en peso del cemento, que abarcan valores de 0.85%, 1.00% y 1.25%.

7.1 Análisis de Agregados (NTP 339.037:2015:2015)

7.1.1 Agregado fino

El agregado fino utilizado proviene de la cantera Trapiche y presenta un módulo de finura de 3.02. Al realizar el ensayo de granulometría, se obtuvo una curva que se encuentra dentro de los límites establecidos en la norma NTP 400.037:2021, lo que indica que cumple con los parámetros requeridos.

7.1.2 Agregado grueso

El agregado grueso empleado en el proyecto proviene de la cantera UNICON. Este agregado tiene un módulo de finura de 7.23, lo cual indica su tamaño y distribución de partículas. Para evaluar su granulometría, se realizó un ensayo específico y se obtuvo una curva que se encuentra dentro de los límites establecidos para el Huso 56 (1" - 3/8"), según lo establecido en la norma NTP 400.037:2021.

El hecho de que la curva de granulometría del agregado grueso esté dentro de los límites del Huso 56 es un indicativo de que cumple con los parámetros requeridos para este tipo de agregado en el proyecto. Esto implica que el tamaño de las partículas se encuentra dentro de los rangos permitidos, lo que es esencial para garantizar la calidad y las propiedades deseadas en la mezcla de concreto.

Al cumplir con los parámetros establecidos en la norma, el agregado grueso de la cantera UNICON se considera adecuado y apto para su uso en el proyecto, brindando confianza en cuanto a su capacidad para contribuir a la resistencia y durabilidad del concreto.

7.1.3 Agregado global

Determinación de la mejor combinación de agregado fino y grueso a través del ensayo de máximo peso unitario compactado (P.U.C.). Durante este proceso,

se utilizó el software Excel para analizar los resultados y graficar los datos, lo que permitió visualizar claramente el punto óptimo de la curva.

Los resultados obtenidos revelaron que el agregado fino contribuyó con el 49.16% del peso unitario compactado máximo, mientras que el agregado grueso representó el 50.84% restante. Estos valores representan las proporciones ideales para lograr un peso unitario compactado óptimo en el agregado global.

Para este propósito, se examinó el porcentaje de participación de la arena en relación al peso unitario compactado máximo del agregado global, y dicha información se presenta en el gráfico 39. Este gráfico proporciona una representación visual clara y precisa de la contribución de la arena en la obtención del máximo peso unitario compactado del agregado global.

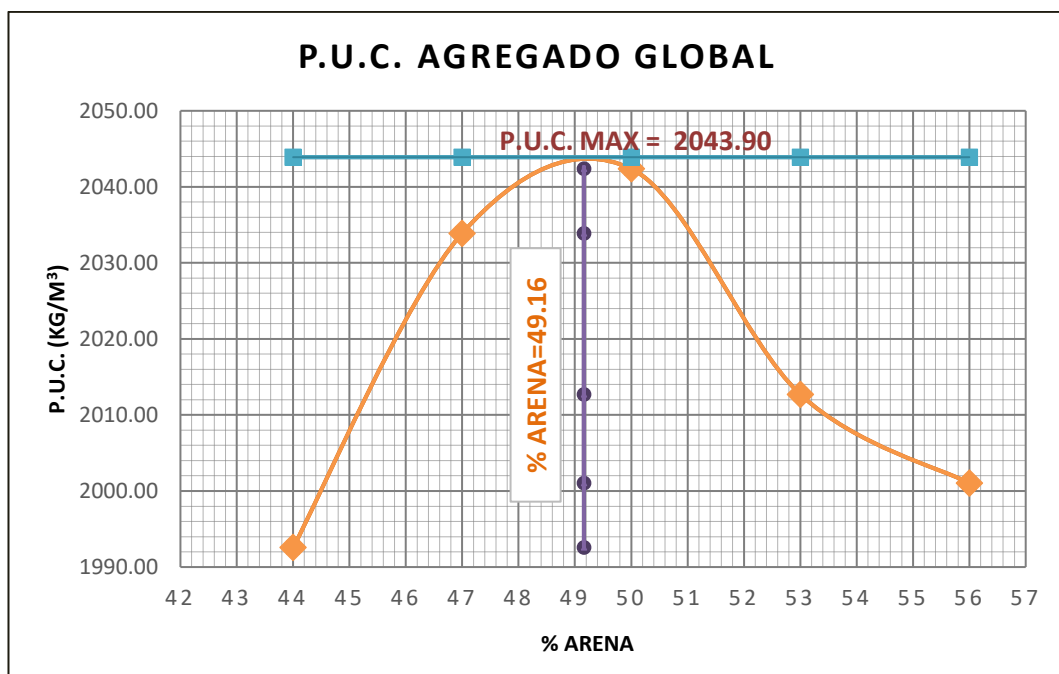


Gráfico 39. Relación entre PUC del agregado global y porcentaje de arena.
Fuente: Elaboración propia.

7.2 Propiedades del Concreto en Estado Fresco

7.2.1 Asentamiento (NTP 339.035:2022)

Los diseños de concreto analizados en este estudio presentan un rango de asentamiento de 6" a 7". Para lograr este nivel de asentamiento requerido, se tuvo que reducir la cantidad de agua en comparación con el concreto patrón. Esto se logró utilizando las dosificaciones del aditivo reductor de agua de alto rango en diferentes relaciones agua/cemento.

Con el objetivo de mantener el asentamiento deseado, se ajustaron las proporciones de agua en función de las dosificaciones del aditivo mencionado. Los resultados de estos ajustes se detallan en la tabla 64.

Tabla 64

Asentamiento correspondientes a cada diseño.

a/c	Mezcla Diseño	Asentamiento (pulg)	Variación respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	6.70"	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	6.90"	102.99%
	C.P. + Aditivo 1.00%	7.00"	104.48%
	C.P. + Aditivo 1.25%	6.50"	97.01%
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	6.50"	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	6.60"	101.54%
	C.P. + Aditivo 1.00%	6.70"	103.08%
	C.P. + Aditivo 1.25%	6.90"	106.15%
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	6.30"	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	6.70"	106.35%
	C.P. + Aditivo 1.00%	6.90"	109.52%
	C.P. + Aditivo 1.25%	7.00"	111.11%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Peso unitario (NTP 339.046:2019)

Los pesos unitarios determinados en los ensayos se encuentran dentro de un rango de 2300 a 2500 kg/m³, lo cual es característico de un concreto de tipo normal. Sin embargo, es importante destacar los valores específicos obtenidos para los diseños que incorporaron el aditivo reductor de agua de alto rango en una proporción del 1.25% respecto al peso del cemento.

En estos casos, se registraron pesos unitarios de 2448.88 kg/m³, 2469.88 kg/m³ y 2476.43 kg/m³, respectivamente, para cada uno de los diseños considerados. Por otro lado, en los casos en los que no se utilizó el aditivo, los valores de los pesos unitarios fueron de 2358.83 kg/m³, 2372.60 kg/m³ y 2370.48 kg/m³ para las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, respectivamente.

Es relevante destacar que se verificó un incremento promedio del 3.55% en el peso unitario de los diseños que incorporaron el aditivo en comparación con los concretos patrones correspondientes a cada relación agua/cemento. Este aumento en el peso unitario puede atribuirse a las propiedades específicas del

aditivo reductor de agua de alto rango, que contribuyó a una mayor compactación y densidad en la mezcla de concreto.

Estos resultados, presentados de manera detallada en la tabla 65, brindan información valiosa sobre los efectos del aditivo en los pesos unitarios de los diseños de concreto y su impacto en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

Tabla 65

Peso unitario correspondientes a cada diseño.

MEZCLA		Peso unitario	Variación
a/c	Diseño	(kg/m ³)	respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	2358.83	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	2421.34	102.65%
	C.P. + Aditivo 1.00%	2429.81	103.01%
	C.P. + Aditivo 1.25%	2448.88	103.82%
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	2372.60	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	2406.50	101.43%
	C.P. + Aditivo 1.00%	2440.94	102.88%
	C.P. + Aditivo 1.25%	2469.88	104.01%
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	2370.48	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	2415.51	101.90%
	C.P. + Aditivo 1.00%	2439.35	102.91%
	C.P. + Aditivo 1.25%	2476.43	104.47%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.3 Fluidéz (NTP 339.085:2016)

Al analizar los ensayos de fluidez de los diseños de concreto que incorporaron el aditivo reductor de agua de alto rango, se puede observar que se producen variaciones significativas en comparación con el concreto patrón. Estas variaciones están directamente relacionadas con los valores de asentamiento obtenidos.

Se ha registrado una variación máxima del 61.97% en relación al concreto patrón, la cual se obtuvo para la relación agua/cemento de 0.55. Por otro lado, se observa una variación mínima del 2.60% en comparación con el concreto patrón, la cual se obtiene también para la relación agua/cemento de 0.55.

Estos resultados indican claramente que a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo reductor de agua de alto rango, se logra un mayor nivel de fluidez en la mezcla de concreto. Esta relación directa entre el porcentaje de aditivo y la fluidez es evidente en los resultados presentados en la tabla 66.

Estos hallazgos son valiosos, ya que la fluidez del concreto juega un papel crucial en la facilidad de colocación y compactación, así como en la calidad y rendimiento del concreto en diversas aplicaciones constructivas.

Tabla 66

Fluidez correspondientes a cada diseño.

a/c	MEZCLA (%)	Fluidez (%)	Variación respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	69.89%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	78.40%	112.18%
	C.P. + Aditivo 1.00%	97.10%	138.93%
	C.P. + Aditivo 1.25%	94.70%	135.50%
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	70.00%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	81.70%	116.71%
	C.P. + Aditivo 1.00%	106.20%	151.71%
	C.P. + Aditivo 1.25%	77.30%	110.43%
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	73.10%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	85.70%	117.24%
	C.P. + Aditivo 1.00%	118.40%	161.97%
	C.P. + Aditivo 1.25%	75.00%	102.60%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 Contenido de aire (NTP 339.083:2017)

Los resultados de los ensayos de contenido de aire revelan que se encuentran dentro de un rango de 0.80% a 1.71%. Sin embargo, es importante destacar los valores específicos obtenidos para los diseños que incorporaron el aditivo reductor de agua de alto rango en una proporción del 1.25% respecto al peso del cemento.

En estos casos, se observaron valores de contenido de aire en el rango de 1.30% a 1.71%. Por otro lado, los valores correspondientes al concreto patrón se encontraron en el rango de 0.80% a 0.90%, para cada una de las relaciones agua/cemento consideradas.

Estos resultados verifican que a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo reductor de agua de alto rango, también se incrementa el contenido de aire en el concreto. Esta relación directa entre el porcentaje de aditivo y el contenido de aire se evidencia en los resultados presentados en la tabla 67.

Es importante tener en cuenta que el contenido de aire en el concreto tiene un impacto significativo en sus propiedades y rendimiento. Un contenido de aire adecuado puede mejorar la resistencia a la congelación y descongelación, así

como la durabilidad del concreto. Por lo tanto, estos hallazgos son relevantes para comprender y controlar las características del concreto en relación con el contenido de aire y la incorporación del aditivo reductor de agua de alto rango.

Tabla 67

Contenido de aire correspondientes a cada diseño.

a/c	MEZCLA (%)	Contenido de aire (%)	Variación respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	0.80%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	0.90%	112.50%
	C.P. + Aditivo 1.00%	1.10%	137.50%
	C.P. + Aditivo 1.25%	1.30%	162.50%
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	0.90%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	1.30%	144.44%
	C.P. + Aditivo 1.00%	1.60%	177.78%
	C.P. + Aditivo 1.25%	1.70%	188.89%
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	0.90%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	1.10%	122.22%
	C.P. + Aditivo 1.00%	1.40%	155.56%
	C.P. + Aditivo 1.25%	1.71%	190.00%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Exudación (NTP 339.077:2020)

La cantidad de exudación medida se encuentra en un rango que va aditivo reductor de agua de alto rango en la mayor proporción (1.25% del peso del cemento), se observa que presentan valores de exudación de 0.02%, 0.02% y 0.04%, mientras que el concreto patrón muestra valores de 0.83%, 1.04% y 0.94% para relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Estos resultados demuestran que, al agregar el aditivo, el contenido de exudación disminuye en un promedio del 96% en comparación con el concreto patrón, lo cual puede explicarse por la reducción de agua provocada por el aditivo. Los datos específicos se encuentran detallados en la tabla 68.

A partir de mis conocimientos, puedo decir que la exudación es la migración de agua hacia la superficie del concreto fresco, lo cual puede afectar la calidad y las propiedades del material. El uso de aditivos, como en este caso el reductor de agua de alto rango, se utiliza para controlar y reducir la exudación, permitiendo obtener un concreto más consistente y de mejor rendimiento.

Tabla 68

Exudación correspondientes a cada diseño.

MEZCLA	Exudación
--------	-----------

a/c	(%)	(%)	Variación respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	0.83%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	0.08%	9.23%
	C.P. + Aditivo 1.00%	0.06%	7.24%
	C.P. + Aditivo 1.25%	0.02%	2.48%
0.50	Concreto Patrón (C.P.)	1.04%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	0.05%	5.03%
	C.P. + Aditivo 1.00%	0.02%	1.92%
	C.P. + Aditivo 1.25%	0.02%	1.50%
0.55	Concreto Patrón (C.P.)	1.04%	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	0.05%	5.03%
	C.P. + Aditivo 1.00%	0.02%	1.92%
	C.P. + Aditivo 1.25%	0.02%	1.50%

Fuente: Elaboración propia.

7.2.6 Tiempo de fragua (NTP 339.082:2017)

Los diseños que contienen el mayor porcentaje de aditivo reductor de agua de alto rango (1.25% del peso del cemento), presentan tiempos de fragua inicial de 6h:09min, 6h:17min y 6h:29min, mientras que el concreto sin aditivo (patrón) muestra tiempos de 4h:00min, 4h:17min y 4h:31min para relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Estos resultados indican que a medida que se incrementa la cantidad de aditivo, el tiempo de fragua inicial aumenta en promedio un 24.55%.

En cuanto al tiempo de fragua final, los diseños con el mayor porcentaje de aditivo (1.25% del peso del cemento) muestran tiempos de 7h:26min, 7h:31min y 7h:38min, mientras que el concreto sin aditivo (patrón) presenta tiempos de 5h:20min, 5h:38min y 6h:11min para las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Estos resultados indican que a medida que se aumenta la cantidad de aditivo, el tiempo de fragua final aumenta en promedio un 17.42%.

Los datos específicos se encuentran detallados en la tabla 69.

Tabla 69

Tiempo de fragua inicial y final correspondientes a cada diseño.

MEZCLA		TIEMPO DE FRAGUA INICIAL		TIEMPO DE FRAGUA FINAL	
a/c	Diseño	T.F.I. (h:min)	Variación respecto al concreto patrón	T.F.F. (h:min)	Variación respecto al concreto patrón
0.45	Concreto Patrón (C.P.)	04h:00min	100.00%	05h:20min	100.00%
	C.P. + Aditivo 0.85%	04h:54min	122.24%	06h:25min	120.52%

	C.P. + Aditivo 1.00%	05h:24min	134.78%	06h:52min	128.76%
	C.P. + Aditivo 1.25%	06h:09min	153.44%	07h:26min	139.44%
	Concreto Patrón (C.P.)	04h:17min	100.00%	05h:38min	100.00%
0.50	C.P. + Aditivo 0.85%	05h:12min	121.53%	06h:36min	117.41%
	C.P. + Aditivo 1.00%	05h:32min	129.17%	06h:57min	123.40%
	C.P. + Aditivo 1.25%	06h:17min	146.73%	07h:31min	133.65%
	Concreto Patrón (C.P.)	04h:31min	100.00%	06h:11min	100.00%
0.55	C.P. + Aditivo 0.85%	05h:20min	118.06%	06h:42min	108.43%
	C.P. + Aditivo 1.00%	05h:38min	125.00%	07h:02min	113.91%
	C.P. + Aditivo 1.25%	06h:29min	143.66%	07h:38min	123.54%

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Propiedades del Concreto en Estado Endurecido

7.3.1 Resistencia a la compresión (NTP 339.034:2021)

El análisis de la resistencia a la compresión axial a los 28 días revela que los diseños que incorporan el mayor porcentaje de aditivo (1.25% del peso del cemento) aditivo reductor de agua de alto rango muestran resistencias de 703.46, 634.93 y 623.59 kg/cm², respectivamente. Por otro lado, el concreto sin aditivo (patrón) presenta resistencias de 373.25, 361.32 y 335.85 kg/cm² para las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, respectivamente. Al comparar estos valores en términos porcentuales, se observa un incremento de resistencia del 188.47%, 175.73% y 185.68% en relación al concreto patrón, para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, respectivamente.

Estos resultados demuestran que la adición del aditivo reductor de agua de alto rango en las proporciones mencionadas tiene un efecto significativo en el aumento de la resistencia a la compresión del concreto. El aditivo probablemente contribuye a mejorar las propiedades del material y su capacidad para soportar cargas de compresión.

Además, se dispone de datos de resistencia a las edades de 7, 14 y 28 días para diferentes relaciones agua/cemento (0.45, 0.50 y 0.55) y dosificaciones de aditivo (0.85%, 1.00% y 1.25%). Estos datos se presentan en los gráficos 40, 41 y 42, proporcionando una representación visual de cómo evoluciona la resistencia a lo largo del tiempo para cada combinación de relación agua/cemento y dosificación de aditivo.

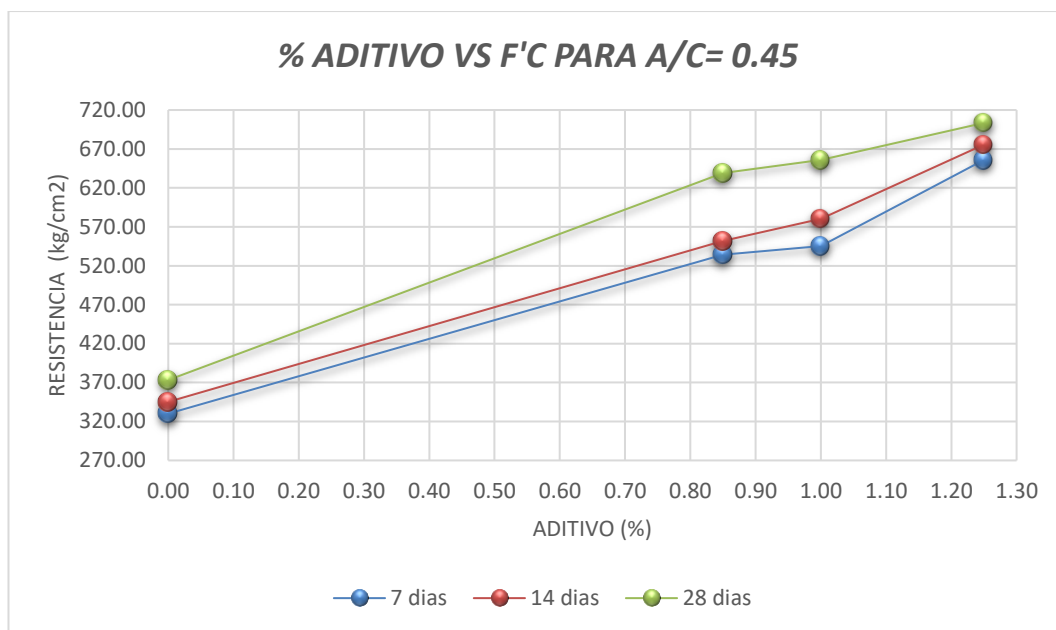


Gráfico 40. Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.45.
Fuente: Elaboración propia.

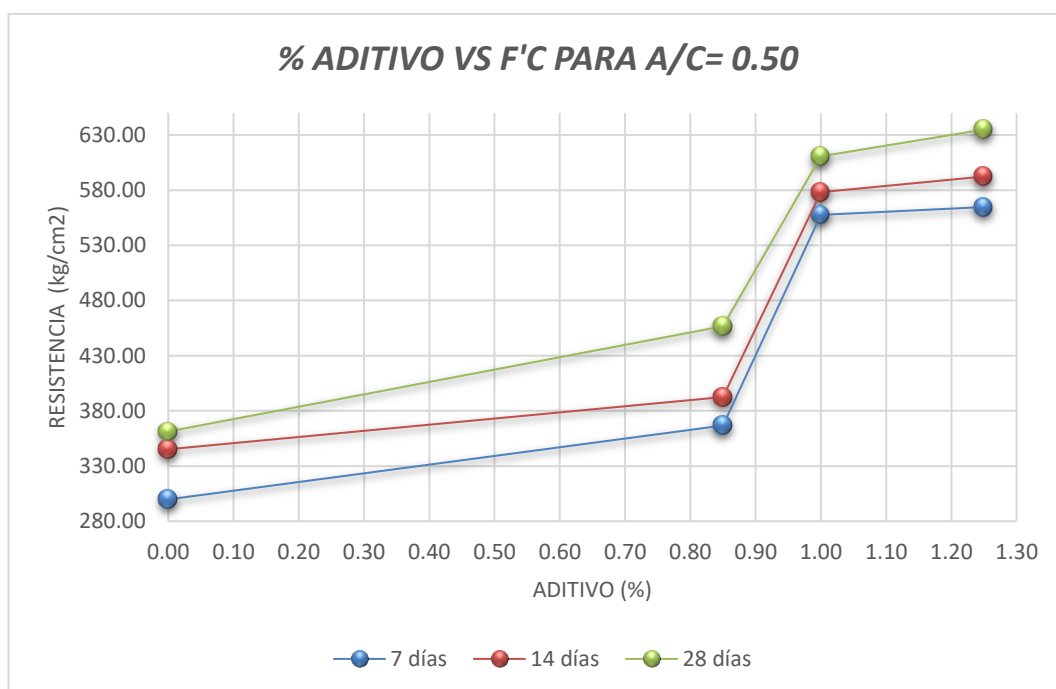


Gráfico 41. Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.50.
Fuente: Elaboración propia.

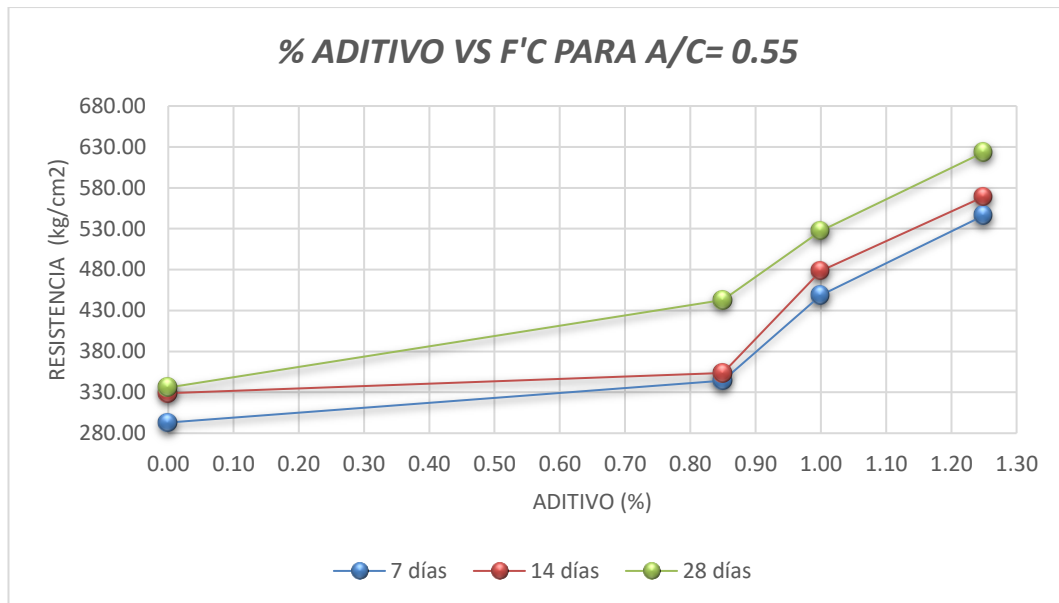


Gráfico 42. Evaluación de la resistencia a compresión para a/c de 0.55.
Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Resistencia a la tracción (NTP 339.084:2012)

De acuerdo a los resultados obtenidos, que se mostraron en la tabla 58 y el gráfico 38, se puede analizar la resistencia a la compresión diametral para diferentes relaciones agua/cemento a la edad de 28 días. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Para una relación agua/cemento de 0.45, los diseños que incorporan aditivos en dosificaciones del 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso del cemento muestran resistencias a la compresión diametral de 53.32, 54.83 y 58.79 kg/cm², respectivamente. Comparando estos resultados con el concreto patrón (con una resistencia de 43.52 kg/cm²), se observa un incremento del 122.52%, 125.99% y 135.09%, respectivamente.

Para una relación agua/cemento de 0.50, los diseños con dosificaciones de aditivos del 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso del cemento muestran resistencias a la compresión diametral de 46.14, 52.80 y 53.84 kg/cm², respectivamente. Al comparar estos valores con el concreto patrón (con una resistencia de 41.17 kg/cm²), se observa un incremento del 112.07%, 128.25% y 130.77%, respectivamente.

Para una relación agua/cemento de 0.55, los diseños con dosificaciones de aditivos del 0.85%, 1.00% y 1.25% del peso del cemento presentan resistencias a la compresión diametral de 43.98, 49.59 y 50.47 kg/cm², respectivamente.

Comparando estos resultados con el concreto patrón (con una resistencia de 36.76 kg/cm²), se observa un incremento del 112.07%, 128.25% y 130.77%, respectivamente.

Estos datos indican que la adición de aditivos, en las dosificaciones mencionadas, tiene un impacto positivo en la resistencia a la compresión diametral del concreto. Los aditivos ayudan a mejorar las propiedades del material, lo que resulta en un aumento significativo de la resistencia.

7.4 Análisis de la Reducción de la Cantidad de Agua

El ajuste en la disminución de la relación agua/cemento en los diseños que contienen el aditivo reductor de agua de alto rango en un porcentaje del 1.25% del peso del cemento, revela valores de reducción de agua de 42.26%, 34.59% y 35.62% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, respectivamente. Estos resultados demuestran que a medida que se agrega el aditivo, se logra una reducción promedio del contenido de agua en un 21.94% en comparación con el concreto patrón. El comportamiento de estos datos se presenta en la tabla 70.

Tabla 70

Modificaciones en la reducción de la relación agua/cemento.

a/c	% de aditivo	agua de diseño (lt)	reducción de agua (lt)	variación con respecto al c. patrón (%)
0.45	0.00	239.00	0.00	0.00
	0.85	189.00	50.00	20.92
	1.00	159.00	80.00	33.47
	1.25	138.00	101.00	42.26
0.50	0.00	229.00	0.00	0.00
	0.85	186.30	42.70	18.65
	1.00	157.80	71.20	31.09
	1.25	149.80	79.20	34.59
0.55	0.00	220.00	0.00	0.00
	0.85	184.20	35.80	16.27
	1.00	153.23	66.77	30.35
	1.25	141.63	78.37	35.62

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En esta investigación se han realizado un total de 297 ensayos, con 252 pruebas específicas para evaluar la resistencia a compresión, 36 pruebas de resistencia a tracción y 9 pruebas para determinar el agregado óptimo basado en la resistencia. Estos ensayos han proporcionado un conjunto de datos amplio que brinda confiabilidad y viabilidad a los resultados obtenidos. Se ha puesto un enfoque particular en mejorar las propiedades reológicas del concreto y lograr una consistencia adecuada en la mezcla.

Reducción de agua

Se ha constatado que, para mantener el asentamiento deseado de 6" a 7", la reducción en la cantidad de agua necesaria varía en un rango del 16.27% al 42.26% en comparación con el concreto patrón. Al incorporar mayores cantidades del aditivo reductor de agua de alto rango en los diseños de mezcla, se requiere una menor cantidad de agua para lograr la misma consistencia.

Peso unitario

Según los resultados de los ensayos de peso unitario, se observó que a medida que se aumentó la cantidad de aditivo reductor de agua de alto rango, se produjo un aumento en el peso unitario del concreto en un rango que va desde el 1.43% hasta el 4.47% en comparación con el concreto patrón. Sin embargo, estos incrementos no fueron lo suficientemente significativos como para afectar negativamente el desempeño del concreto.

Fluidez

Según los resultados de los ensayos de fluidez, se evidenció que a medida que se incrementó la proporción del aditivo reductor de agua de alto rango, se produjo un aumento en el diámetro de las muestras de concreto en comparación con el concreto patrón. El rango de aumento varió desde un 2.60% hasta un 61.97%. No obstante, es importante destacar que al utilizar una dosificación del aditivo al 1.25%, se ha observado una disminución en la fluidez, lo que a su vez afecta la trabajabilidad del concreto. Estos hallazgos sugieren la importancia de encontrar

un equilibrio entre la dosificación del aditivo y la fluidez deseada para lograr un concreto con las propiedades adecuadas.

Contenido de aire

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de contenido de aire, se observó un aumento en el contenido de aire del concreto a medida que se incorporó el aditivo reductor de agua de alto rango en las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55. Este incremento varió en un rango que va desde el 12.50% hasta el 90.00% en comparación con el concreto patrón. No obstante, es importante destacar que, a pesar de este aumento en el contenido de aire, las resistencias a la compresión axial no se vieron afectadas de manera significativa. Esto sugiere que el aditivo superplastificante utilizado tiene un impacto limitado en las propiedades de resistencia del concreto.

Exudación

Los resultados de los ensayos indicaron que, al incrementar la cantidad del aditivo reductor de agua de alto rango en la mezcla de concreto, se produjeron reducciones significativas en la exudación en comparación con el concreto patrón. Estas reducciones se encuentran en un amplio rango que va desde el 90.77% hasta el 98.50%.

La disminución de la exudación se debió principalmente a la reducción de agua lograda mediante la adición del aditivo superplastificante. Esto resulta en una mejor acomodación de las partículas en la mezcla de concreto, lo que a su vez contribuye a una mayor resistencia del concreto.

Estos hallazgos respaldan la efectividad del aditivo reductor de agua de alto rango para controlar la exudación y mejorar las propiedades de la mezcla de concreto, lo cual es beneficioso para garantizar un concreto de mayor calidad y rendimiento.

Tiempo de fragua

En el caso del tiempo de fraguado, se observó que el concreto patrón presentó un tiempo de fragua inicial que oscila entre 04h:00min y 04h:31min. Sin embargo, al agregar el aditivo reductor de agua de alto rango en todas las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, se produce un aumento promedio del 24.55%

en el tiempo de fragua inicial en comparación con el concreto patrón. Este incremento resulta beneficioso para concretos que se vierten en climas cálidos, ya que proporciona un mayor tiempo de trabajabilidad antes de que la mezcla comience a fraguar.

En cuanto al tiempo de fragua final, el concreto patrón tuvo un rango de tiempo que va desde 05h20min hasta 06h:11min. Al añadir el aditivo reductor de agua de alto rango en todas las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, se observa un aumento en el tiempo de fragua final de hasta un 17.42% en comparación con el concreto patrón. Este incremento proporciona al concreto un mayor tiempo de manejabilidad, lo que facilita una colocación adecuada y precisa.

Estos hallazgos demuestran la capacidad del aditivo reductor de agua de alto rango para controlar y ajustar el tiempo de fraguado del concreto, brindando ventajas en términos de manejabilidad y trabajabilidad, especialmente en condiciones climáticas desafiantes o en situaciones que requieren un mayor tiempo de colocación del concreto.

Resistencia a la compresión

Las resistencias a la compresión del concreto patrón, obtenidas después de 28 días de curado, se encuentran en un intervalo de 335.85 a 373.25 kg/cm². También se encontró que, al aumentar la dosificación del aditivo reductor de agua de alto rango en los diseños de mezcla con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, se observa un incremento en la resistencia a la compresión.

Se ha verificado que para el diseño de mezcla con una relación agua/cemento de 0.45, al cabo de 28 días se alcanza la resistencia máxima, con un valor de 703.46 kg/cm². Estos resultados demuestran que al reducir la cantidad de agua en la mezcla y disminuir la relación agua/cemento, se obtienen resistencias a la compresión más elevadas.

Esto respalda la eficacia del aditivo reductor de agua de alto rango para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en términos de resistencia a la compresión. Al controlar y optimizar la relación agua/cemento mediante la adición de este aditivo, se logran concretos más robustos y de mayor resistencia, lo cual es de gran importancia para proyectos de construcción que requieren altos estándares de durabilidad y carga estructural.

Resistencia a la tracción diametral

Las pruebas de resistencia a la tracción diametral del concreto patrón revelaron valores que varían entre 36.76 kg/cm^2 y 43.52 kg/cm^2 . También se encontró que, al aumentar la dosificación del aditivo reductor de agua de alto rango en los diseños de mezcla con relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55, se observa un incremento en la resistencia a la tracción diametral.

Se ha verificado que para la relación agua/cemento de 0.45, se alcanza el valor máximo de resistencia a la tracción diametral, que es de 58.79 kg/cm^2 . Este resultado es beneficioso en términos de prevenir y mitigar el agrietamiento que pueda ocurrir en el concreto debido al secado o a la disminución de la temperatura.

Estos hallazgos respaldan la capacidad del aditivo reductor de agua de alto rango para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, específicamente en términos de resistencia a la tracción diametral. Al agregar este aditivo a la mezcla, se logra un concreto más resistente a las tensiones de tracción, lo cual es esencial para garantizar una mayor durabilidad y resistencia a las grietas en las estructuras de concreto.

Recomendaciones

Considerar la dosificación óptima del aditivo superplastificante: A partir de los resultados obtenidos, se observa que la adición del aditivo reductor de agua de alto rango tiene efectos positivos en diversas propiedades del concreto, como la fluidez, la reducción de agua y el tiempo de fragua. Sin embargo, es importante realizar un análisis exhaustivo de dosificación para determinar la cantidad adecuada del aditivo que maximice los beneficios deseados sin comprometer otras características del concreto.

Controlar la relación agua/cemento: Los ensayos demuestran que al reducir la cantidad de agua y disminuir la relación agua/cemento, con el objetivo de obtener concretos con mayor resistencia a la compresión y a la tracción, la mezcla puede llegar a segregarse o generar disminuya la resistencia de la mezcla en lugar de incrementar. Por lo tanto, se recomienda mantener un estricto control sobre la relación agua/cemento en los diseños de mezcla para optimizar la resistencia y las propiedades mecánicas del concreto.

Considerar el clima y las condiciones ambientales: Los resultados muestran que el aditivo reductor de agua de alto rango puede tener beneficios significativos en términos de tiempo de fragua y trabajabilidad en climas cálidos. Por lo tanto, se sugiere tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar de construcción y adaptar la dosificación del aditivo en consecuencia para obtener un mejor desempeño del concreto en esas condiciones específicas.

Realizar ensayos adicionales de durabilidad: Aunque los ensayos realizados hasta ahora se han centrado principalmente en propiedades mecánicas, sería recomendable llevar a cabo pruebas de durabilidad, como resistencia al desgaste, permeabilidad y resistencia a la carbonatación, para evaluar cómo la adición del aditivo superplastificante afecta estas propiedades clave del concreto a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- Abanto, F. (2013). *Tecnología del concreto (teoría y problemas)*. Editorial San Marcos.
- Basf Perú S.A. (2021). *MasterGlenium SCC 3800 Aditivo reductor de agua de alto rango*.
www.masterbuilderssolutions.com/espe/products/masterglenium/masterglenium-scc-3800
- Cachay, R. (1995). *Diseño de Mezclas - Método de Agregado Global y Módulo de Finura, para concreto de mediana a alta resistencia*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Canchaya, L. (2021). *Efecto de aditivos de última generación en las propiedades en estado fresco y endurecido en concretos por desempeño para transporte prolongado - Huancayo 2020*. [Tesis pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/10397>
- Cárdenas, M. y Cárdenas, C. (2022). *Análisis comparativo de la resistencia a compresión de hormigón, utilizando aditivos superplastificantes sobre la base de naftalenos y policarboxilatos aplicados en la empresa Concretos Chimborazo de Quito*. [Tesis pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22314/1/UPS%20-%20TTS740.pdf>
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación*. Editorial Universidad Continental.
- Hernández, C. (2005). *Plastificantes para el Hormigón*. [Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas de la Universidad Austral de Chile.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcih557p/doc/bmfcih557p.pdf>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). Editorial Mc Graw Hill Interamericana.
- IMCYC (2017). *Durabilidad y Patología del concreto*, Revista Construcción y Tecnología en concreto, 06(12).
<https://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>

- Jaimes, D., García, J. y Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción, *Revista Formación Estratégica*, 01 (02).
<https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/download/18/14>
- Loayza, V. (2012). *Estudio de las propiedades del concreto y la variabilidad de su resistencia usando aditivo superplastificante y cemento portland tipo I*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mayhuay, H. (2021). *Estudio del concreto con cemento portland tipo I de mediana a alta resistencia utilizando aditivo superplastificante reductor de agua*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Oliva, C. (2008). *Influencia de los superplastificantes en la trabajabilidad y resistencia de los hormigones grado H-25 y H-30*. [Tesis pregrado, Universidad Austral de Chile]. Sistema de Bibliotecas de la Universidad Austral de Chile.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmficio.48i/doc/bmficio.48i.pdf>
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S. y Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón, *Revista ingeniería de construcción*, 33(02).
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>
- Palomares, J. (2009). *Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango superplastificante y cemento Portland tipo I*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Palomino, M. (2017). *Estudio del concreto con cemento Portland Tipo IP y aditivo Superplastificante*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rosal, J. (2017). Álcalis en el cemento y sus efectos en el concreto, *Revista Construcción y Tecnología en concreto*, 06 (12).
<https://www.imcyc.com/revistacyt/MARZO%202017/MARZO17.pdf>
- Sáenz, R. (2019). *Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para a/c=0.6*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Salazar, B. (2021, julio). *¿Estamos preparados para afrontar un sismo en el Perú?* Nota de prensa. Universidad de Piura.

<https://www.udep.edu.pe/hoy/2021/07/estamos-preparados-para-afrontar-un-sismo-en-el-peru/>

Silva, O. (2022). *Generalidades y tipos de aditivos para el concreto según la NTC 1299*. Grupo Argos.

<https://360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto/>

Taype, R. (2006). *Estudio de las propiedades del concreto de baja y mediana resistencia con aditivo curador*. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/15771>

Tesillo, A. (2004). *Estudio de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con cemento portland tipo I y utilizando un aditivo plastificante*. [Tesis de título profesional inédita]. Universidad Nacional de Ingeniería.

UNACEM (s.f.). *Ficha técnica Cemento Sol*.

Zavala, K. (2023). *Investigación de la unidad I: Naturaleza del concreto*. [Trabajo de investigación]. Instituto Tecnológico de Cerro Azul.

Anexos

Anexo A: Ensayos de los agregados.....	128
Anexo B: Ensayos del concreto en estado fresco.....	133
Anexo C: Ensayos del concreto en estado endurecido.....	161
Anexo D: Ficha técnica del aditivo MasterGlenium SCC 3800.....	181
Anexo E: Panel fotográfico.....	183

ANEXO A: ENSAYOS DE LOS AGREGADOS**GRANULOMETRÍA****Agregado fino**

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
3/8"	9.53	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	0.45	0.04%	0.04%	99.96%
N° 8	2.36	119.15	11.92%	11.96%	88.04%
N° 16	1.18	260.27	26.03%	37.99%	62.01%
N° 30	0.6	295.85	29.59%	67.57%	32.43%
N° 50	0.3	203.63	20.36%	87.93%	12.07%
N° 100	0.15	86.23	8.62%	96.56%	3.44%
FONDO		34.43	3.44%	100.00%	0.00%

Agregado grueso

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	%Retenido	%Retenido Acumulado	% Acumulado que pasa
1 1/2"	37.50	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25.00	980.85	9.81%	9.81%	90.19%
3/4"	19.00	2683.95	26.84%	36.65%	63.35%
1/2"	12.50	3499.60	35.00%	71.64%	28.36%
3/8"	9.50	1470.56	14.71%	86.35%	13.65%
N° 4	4.75	1336.20	13.36%	99.71%	0.29%
FONDO		28.84	0.29%	100.00%	0.00%

Agregado global

Tamiz	%Retenido arena	%Retenido piedra	%Ret. arena 49.16%	%Ret. piedra 50.84%	%Acumulado global	
					Retenido	Pasa
1 1/2"		0.00%		0.00%	0.00%	100.00%
1"		9.81%		4.99%	4.99%	95.01%
3/4"		26.84%		13.65%	18.63%	81.37%
1/2"		35.00%		17.79%	36.42%	63.58%
3/8"		14.71%		7.48%	43.90%	56.10%

N° 4	0.04%	13.36%	0.02%	6.79%	50.72%	49.28%
N° 8	11.92%	0.29%	5.86%	0.15%	56.72%	43.28%
N°16	26.03%		12.79%		69.51%	30.49%
N° 30	29.59%		14.54%		84.06%	15.94%
N° 50	20.36%		10.01%		94.07%	5.93%
N° 100	8.62%		4.24%		98.31%	1.69%
FONDO	3.44%		1.69%		100.00%	0.00%
TOTAL	100.00%	100.00%	49.16%	50.84%		

PESO UNITARIO

Peso unitario suelto del agregado fino

Muestra	P. muestra + P. balde (1/10p ³) kg	P. balde (1/10p ³) kg	P. muestra kg	V(balde) m ³	Peso unitario suelto (kg/m ³)
M1	5.8651	1.5743	4.2908	0.0028	1532.43
M2	5.8187	1.5743	4.2444	0.0028	1515.86
M3	5.8633	1.5743	4.289	0.0028	1531.79
PROMEDIO					1526.69

Peso unitario compactado del agregado fino

Muestra	P. muestra + P. balde (1/10p ³) kg	P. balde (1/10p ³) kg	P. muestra kg	V(balde) m ³	Peso unitario compactado (kg/m ³)
M1	6.3325	1.5743	4.7582	0.0028	1699.36
M2	6.3572	1.5743	4.7829	0.0028	1708.18
M3	6.3701	1.5743	4.7958	0.0028	1712.79
PROMEDIO					1706.77

Peso unitario suelto del agregado grueso

Muestra	P. muestra + P. balde (1/3p ³) kg	P. balde (1/3p ³) kg	P. muestra kg	V(balde) m ³	Peso unitario suelto (kg/m ³)
M1	18.19	4.36	13.83	0.00944	1465.04
M2	17.98	4.36	13.62	0.00944	1442.80
M3	17.87	4.36	13.51	0.00944	1431.14
PROMEDIO					1446.33

Peso unitario compactado del agregado grueso

Muestra	P. muestra + P. balde (1/3p ³) kg	P. balde (1/3p ³) kg	P. muestra kg	V(balde) m ³	Peso unitario compactado (kg/m ³)
M1	19.53	4.36	15.17	0.00944	1606.99
M2	19.51	4.36	15.15	0.00944	1604.87
M3	19.24	4.36	14.88	0.00944	1576.27
PROMEDIO					1596.05

Peso unitario compactado del agregado global

ARENA %	PIEDRA %	PESO TOTAL kg	P. balde kg	P. muestra kg	V(balde) m ³	P.U.C (kg/m ³)	P.U.C PROMEDIO
44	56	23.18	4.35	18.83	0.00944	1994.70	1992.58
		23.14	4.35	18.79	0.00944	1990.47	
47	53	23.43	4.35	19.08	0.00944	2021.19	2033.90
		23.67	4.35	19.32	0.00944	2046.61	
50	50	23.44	4.35	19.09	0.00944	2022.25	2042.37
		23.82	4.35	19.47	0.00944	2062.50	
53	47	23.42	4.35	19.07	0.00944	2020.13	2012.71
		23.28	4.35	18.93	0.00944	2005.30	
56	44	23.33	4.35	18.98	0.00944	2010.59	2001.06
		23.15	4.35	18.80	0.00944	1991.53	

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Peso específico y absorción del agregado fino

Muestra	P _{ms} (g)	P _{ms} +W _{fiola} +W _{agua} (g)	P _{fiola} (g)	P _{agua} (g)	P _m s _{Wo} (g)	Vol. fiola V (cm³)	P.E de masa	P.E de masa sss	P.E aparente	Absorción
M1	500	1000.9	206	294.9	480.20	500.00	2.34	2.44	2.59	4.12
M2	500	1008.7	206	302.7	482.85	500.00	2.45	2.53	2.68	3.55
M3	500	1011.1	206	305.1	484.00	500.00	2.48	2.57	2.71	3.31
PROMEDIO						500.00	2.42	2.51	2.66	3.66

Peso específico y absorción del agregado grueso

Muestra	W _{ms} B (g)	W _m s al horno A (g)	W _m s en agua +W canastilla (g)	W canastilla (g)	W _m saturada en agua C (g)	P.E de masa A/(B-C)	P.E de masa sss B/(B-C)	P.E aparente A/(A-C)	Absorción (B-A/A)*100 %	Muestra
M1	4000	3968.3	3424.7	876.3	2548.40	2.73	2.76	2.79	0.80	M1
M2	4000	3974.9	3428.2	876.3	2551.90	2.74	2.76	2.79	0.63	M2
M3	4000	3976.8	3418.0	876.3	2541.70	2.73	2.74	2.77	0.58	M3
PROMEDIO						2.74	2.75	2.79	0.67	

CONTENIDO DE HUMEDAD

Contenido de humedad del agregado fino

MUESTRA	Peso húmedo (W) g	Peso seco (D) g	Contenido de humedad (P) %
M1	600	584.6	2.63
M2	600	584.1	2.72
M3	600	584.2	2.70
Promedio			2.69

Contenido de humedad del agregado fino

MUESTRA	Peso húmedo (W) g	Peso seco (D) g	Contenido de humedad (P) %
---------	-------------------	-----------------	----------------------------

M1	2100	2094.0	0.29
M2	2100	2095.6	0.21
M3	2100	2091.0	0.43
Promedio			0.31

Porcentaje de la malla N°200

MUESTRA	Peso seco inicial (P1) g	Peso seco final (P2) g	Muestra que pasa tamiz # 200 (A) %
M1	500	486.50	2.70%
M2	500	485.40	2.92%
M3	500	483.72	3.26%
Promedio			2.96%

ANEXO B: ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Relación agua/cemento=0.45

		muestra1	muestra2
PATRON	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	27.47	27.56
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.22	22.31
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2354.06	2363.60
	Promedio kg/m ³	2358.83	
0.85%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.14	28.07
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.89	22.82
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2425.05	2417.63
	Promedio kg/m ³	2421.34	
1.00%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.29	28.08
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.04	22.83
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2440.94	2418.69
	Promedio kg/m ³	2429.81	
1.25%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.35	28.38
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.10	23.13
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2447.29	2450.47
	Promedio kg/m ³	2448.88	

Relación agua/cemento=0.50

		muestra1	muestra2
PATRON	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	27.58	27.71
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.33	22.46
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2365.72	2379.49
	Promedio kg/m ³	2372.60	
0.85%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	27.92	28.01
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.67	22.76
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2401.74	2411.27
	Promedio kg/m ³	2406.50	
1.00%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.27	28.31
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.02	23.06
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2438.82	2443.06
	Promedio kg/m ³	2440.94	
1.25%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.38	28.73
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.13	23.49
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2451.34	2488.42
	Promedio kg/m ³	2469.88	

Relación agua/cemento=0.55

	muestra1	muestra2
--	----------	----------

PATRON	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	27.65	27.6
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.40	22.35
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2373.13	2367.84
	Promedio kg/m ³	2370.48	
0.85%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	27.95	28.15
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	22.70	22.90
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2404.92	2426.10
	Promedio kg/m ³	2415.51	
1.00%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.25	28.30
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.00	23.05
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2436.70	2442.00
	Promedio kg/m ³	2439.35	
1.25%	Peso del recipiente más la muestra kg (PC)	28.61	28.64
	Peso del recipiente en kg (Pr)	5.25	5.25
	Peso de la muestra kg (PC-Pr)	23.36	23.39
	Volumen del recipiente en m ³ (Vr)	0.009439	0.009439
	Peso unitario del concreto fresco en kg/m ³ (Pu)	2474.84	2478.02
	Promedio kg/m ³	2476.43	

FLUIDEZ DEL CONCRETO

Relación agua/cemento=0.45

D1(cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	D. Promedio	% Fluidez
--------	---------	---------	---------	-------------	-----------

Concreto Patrón	42.05	42.55	42.85	42.44	42.47	69.89%
C. Aditivo 0.85%	44.00	44.50	44.60	45.30	44.60	78.40%
C. Aditivo 1.00%	50.00	49.00	48.80	49.30	49.28	97.10%
C. Aditivo 1.25%	47.90	48.30	49.60	48.90	48.68	94.70%

Relación agua/cemento=0.50

	D1(cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	D. Promedio	% Fluidez
Concreto Patrón	42.50	42.30	42.80	42.40	42.50	70.00%
C. Aditivo 0.85%	45.00	45.40	45.80	45.50	45.43	81.70%
C. Aditivo 1.00%	51.80	51.50	51.20	51.70	51.55	106.20%
C. Aditivo 1.25%	43.80	44.80	44.50	44.20	44.33	77.30%

Relación agua/cemento=0.55

	D1(cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	D. Promedio	% Fluidez
Concreto Patrón	43.70	42.90	43.20	43.30	43.28	73.10%
C. Aditivo 0.85%	47.20	46.50	45.80	46.20	46.43	85.70%
C. Aditivo 1.00%	54.20	54.50	54.90	54.80	54.60	118.40%
C. Aditivo 1.25%	43.90	43.50	43.80	43.80	43.75	75.00%

EXUDACIÓN DEL CONCRETO

Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
11:40	0	0	0.0	0.0
11:50	10	10	0.6	0.6
12:00	10	20	1.2	1.8
12:10	10	30	1.8	3.6
12:20	10	40	1.6	5.2
12:50	30	70	4.2	9.4
13:20	30	100	3.3	12.7
13:50	30	130	3.8	16.5
14:20	30	160	1.4	17.9
14:50	30	190	0.3	18.2
15:20	30	220	0.0	18.2

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm^3)	18.20
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	8320.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	2179.84
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.835

Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Hora

	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
10:10	0	0	0.0	0.0
10:20	10	10	0.0	0.0
10:30	10	20	0.0	0.0
10:40	10	30	0.2	0.2
10:50	10	40	0.3	0.5
11:20	30	70	0.3	0.8
11:50	30	100	0.1	0.9
12:20	30	130	0.2	1.1
12:50	30	160	0.2	1.3
13:20	30	190	0.0	1.3
13:50	30	220	0.0	1.3

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm^3)	1.30
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	6440.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1687.28
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.077

Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
10:10	0	0	0.0	0.0
10:20	10	10	0.0	0.0
10:30	10	20	0.0	0.0
10:40	10	30	0.2	0.2
10:50	10	40	0.2	0.4
11:20	30	70	0.2	0.6
11:50	30	100	0.2	0.8
12:20	30	130	0.1	0.9
12:50	30	160	0.0	0.9
13:20	30	190	0.0	0.9
13:50	30	220	0.0	0.9

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm^3)	0.90
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5680.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1488.16
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.060

Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
10:20	0	0	0.0	0.0
10:30	10	10	0.0	0.0
10:40	10	20	0.0	0.0
10:50	10	30	0.0	0.0
11:00	10	40	0.1	0.1
11:30	30	70	0.1	0.2
12:00	30	100	0.1	0.3
12:30	30	130	0.0	0.3
13:00	30	160	0.0	0.3
13:30	30	190	0.0	0.3
14:00	30	220	0.0	0.3

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm^3)	0.30
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5540.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1451.48
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.021

Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
09:57	0	0	0.0	0.0
10:07	10	10	0.5	0.5
10:17	10	20	1.2	1.7
10:27	10	30	0.6	2.3
10:37	10	40	2.8	5.1
11:07	30	70	4.2	9.3
11:37	30	100	5.7	15.0
12:07	30	130	3.9	18.9
12:37	30	160	0.3	19.2
13:07	30	190	0.1	19.3
13:37	30	220	0.0	19.3

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm^3)	19.30
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	7080.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1854.96
%	EXUDACION = $A*100/F$	1.040

Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
11:16	0	0	0.0	0.0
11:26	10	10	0.0	0.0
11:36	10	20	0.0	0.0
11:46	10	30	0.1	0.1
11:56	10	40	0.2	0.3
12:26	30	70	0.2	0.5
12:56	30	100	0.2	0.7
13:26	30	130	0.1	0.8
13:56	30	160	0.0	0.8
14:26	30	190	0.0	0.8
14:56	30	220	0.0	0.8

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	0.80
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5840.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1530.08
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.052

Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
11:16	0	0	0.0	0.0
11:26	10	10	0.0	0.0
11:36	10	20	0.0	0.0
11:46	10	30	0.0	0.0
11:56	10	40	0.1	0.1
12:26	30	70	0.2	0.3
12:56	30	100	0.0	0.3
13:26	30	130	0.0	0.3
13:56	30	160	0.0	0.3
14:26	30	190	0.0	0.3
14:56	30	220	0.0	0.3

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	0.30
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5720.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E \cdot (B-C)/D$	1498.64
%	EXUDACION = $A \cdot 100/F$	0.020

Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
11:16	0	0	0.0	0.0
11:26	10	10	0.0	0.0
11:36	10	20	0.0	0.0
11:46	10	30	0.0	0.0
11:56	10	40	0.0	0.0
12:26	30	70	0.0	0.0
12:56	30	100	0.1	0.1
13:26	30	130	0.1	0.2
13:56	30	160	0.0	0.2
14:26	30	190	0.0	0.2
14:56	30	220	0.0	0.2

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	0.20
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	4880.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1278.56
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.016

Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
09:57	0	0	0.0	0.0
10:07	10	10	0.5	0.5
10:17	10	20	0.4	0.9
10:27	10	30	0.8	1.7
10:37	10	40	0.8	2.5
11:07	30	70	5.2	7.7
11:37	30	100	3.7	11.4
12:07	30	130	4.2	15.6
12:37	30	160	1.3	16.9
13:07	30	190	0.1	17.0
13:37	30	220	0.0	17.0

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	17.00
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	6900.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E \cdot (B-C)/D$	1807.80
%	EXUDACION = $A \cdot 100/F$	0.940

Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
09:57	0	0	0.0	0.0
10:07	10	10	0.0	0.0
10:17	10	20	0.2	0.2
10:27	10	30	0.2	0.4
10:37	10	40	0.4	0.8
11:07	30	70	0.5	1.3
11:37	30	100	0.4	1.7
12:07	30	130	0.2	1.9
12:37	30	160	0.1	2.0
13:07	30	190	0.0	2.0
13:37	30	220	0.0	2.0

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	2.00
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	6200.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1624.40
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.123

Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
09:57	0	0	0.0	0.0
10:07	10	10	0.0	0.0
10:17	10	20	0.0	0.0
10:27	10	30	0.1	0.1
10:37	10	40	0.2	0.3
11:07	30	70	0.4	0.7
11:37	30	100	0.4	1.1
12:07	30	130	0.2	1.3
12:37	30	160	0.1	1.4
13:07	30	190	0.0	1.4
13:37	30	220	0.0	1.4

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	1.40
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5730.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E \cdot (B-C)/D$	1501.26
%	EXUDACION = $A \cdot 100/F$	0.093

Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

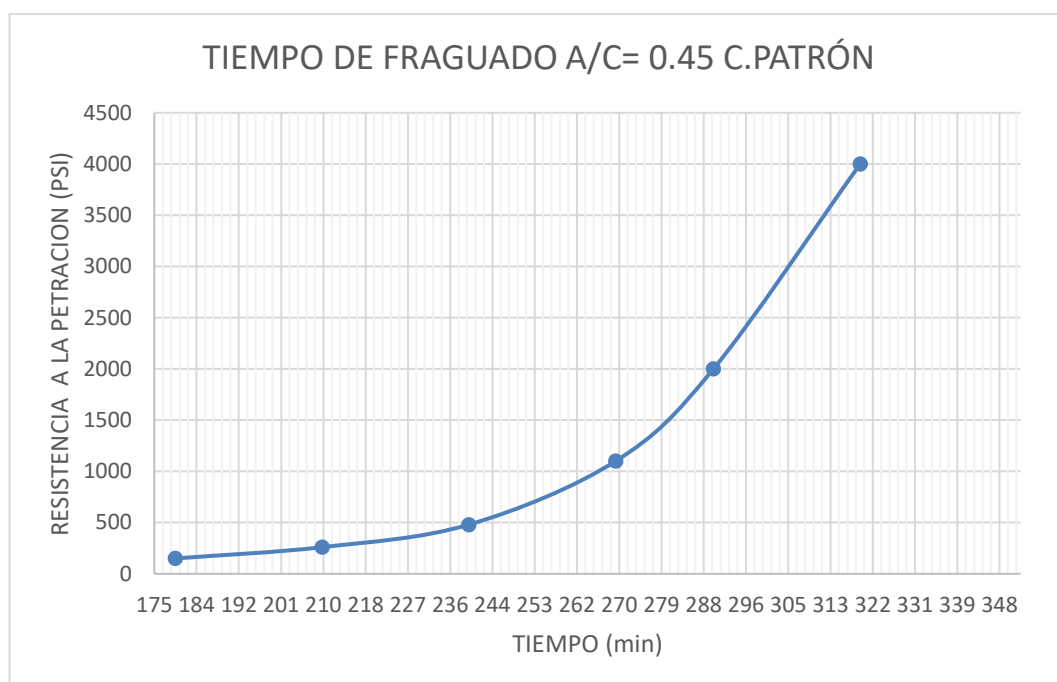
Hora	Tiempo parcial	Tiempo acumulado	Volumen de agua (ml)	Volumen acumulado (ml)
09:57	0	0	0.0	0.0
10:07	10	10	0.0	0.0
10:17	10	20	0.0	0.0
10:27	10	30	0.1	0.1
10:37	10	40	0.1	0.2
11:07	30	70	0.2	0.4
11:37	30	100	0.1	0.5
12:07	30	130	0.1	0.6
12:37	30	160	0.0	0.6
13:07	30	190	0.0	0.6
13:37	30	220	0.0	0.6

IDEM	DESCRIPCION	RESULTADOS
A	Volumen acumulado (cm ³)	0.60
B	Peso recipiente (gr) + Peso mezcla (gr)	26200.00
C	Peso recipiente (gr)	5240.00
B-C	Peso Mezcla (gr)	20960.00
D	Peso total de mezcla (gr)	80000.00
E	Peso total de agua (gr)	5280.00
F	Peso de agua en el balde (gr) = $E*(B-C)/D$	1383.36
%	EXUDACION = $A*100/F$	0.043

TIEMPO DE FRAGUADO

Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón)

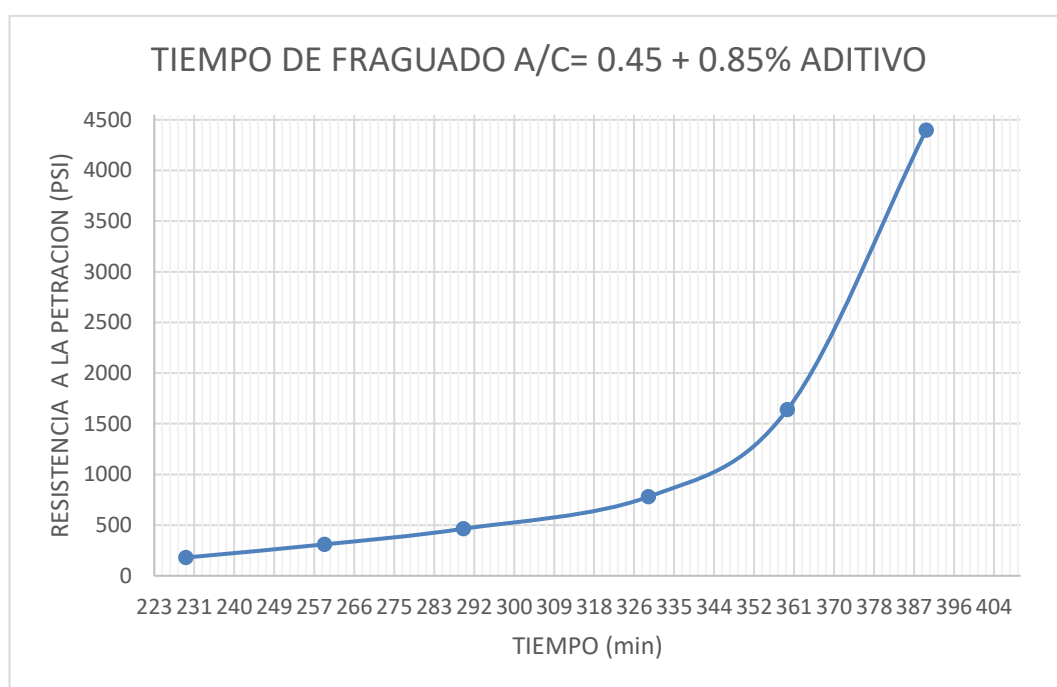
Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja B	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
	horas	(min)	A (lb)	(pulg ²)	
1	03:00	180	150	1.000	150
2	03:30	210	130	0.500	260
3	04:00	240	120	0.250	480
4	04:30	270	110	0.100	1100
5	04:50	290	100	0.050	2000
6	05:20	320	100	0.025	4000



Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

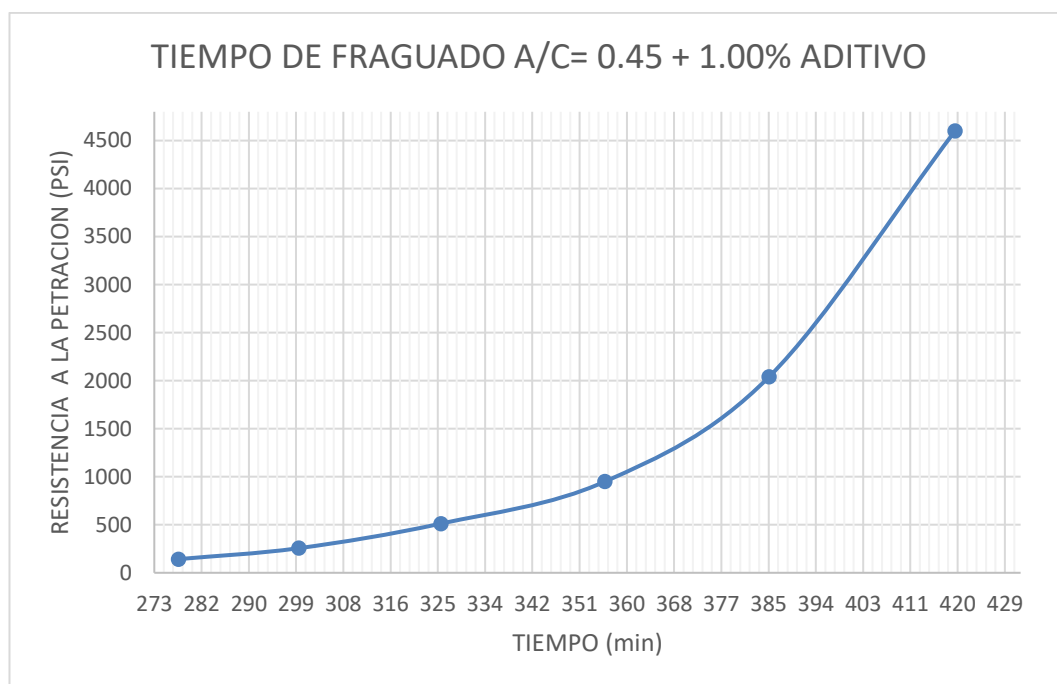
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	03:50	230	180	1.000	180
2	04:20	260	155	0.500	310
3	04:50	290	116	0.250	464
4	05:30	330	78	0.100	780
5	06:00	360	82	0.050	1640
6	06:30	390	110	0.025	4400



Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

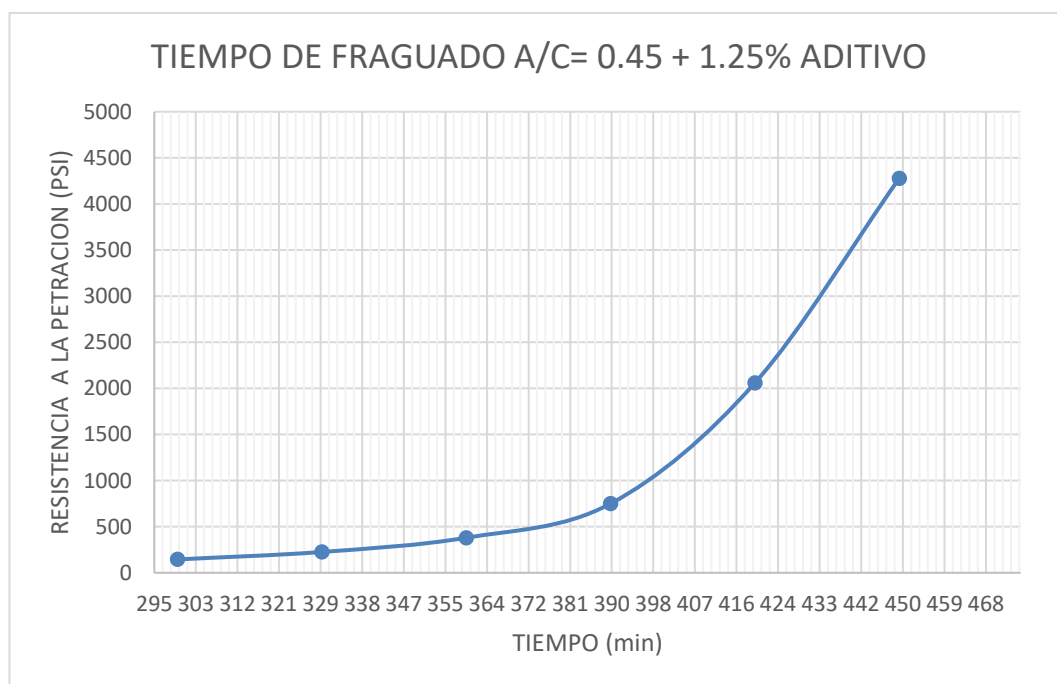
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	04:38	278	142	1.000	142
2	05:00	300	128	0.500	256
3	05:26	326	128	0.250	512
4	05:56	356	95	0.100	950
5	06:26	386	102	0.050	2040
6	07:00	420	115	0.025	4600



Relación agua/cemento=0.45 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

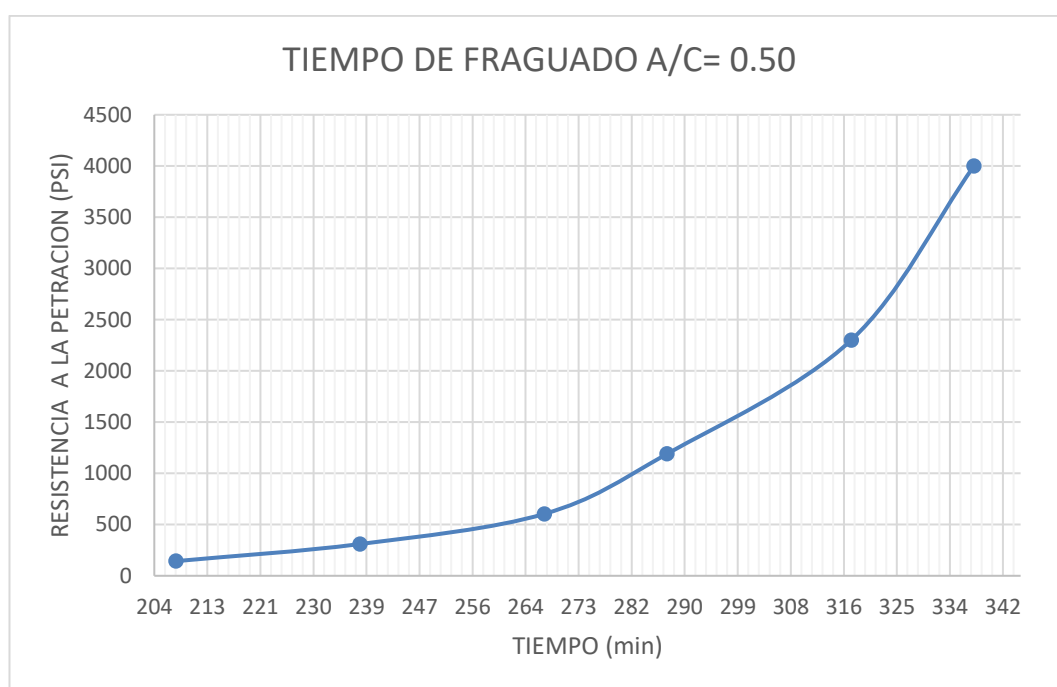
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	05:00	300	145	1.000	145
2	05:30	330	113	0.500	226
3	06:00	360	95	0.250	380
4	06:30	390	75	0.100	750
5	07:00	420	103	0.050	2060
6	07:30	450	107	0.025	4280



Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

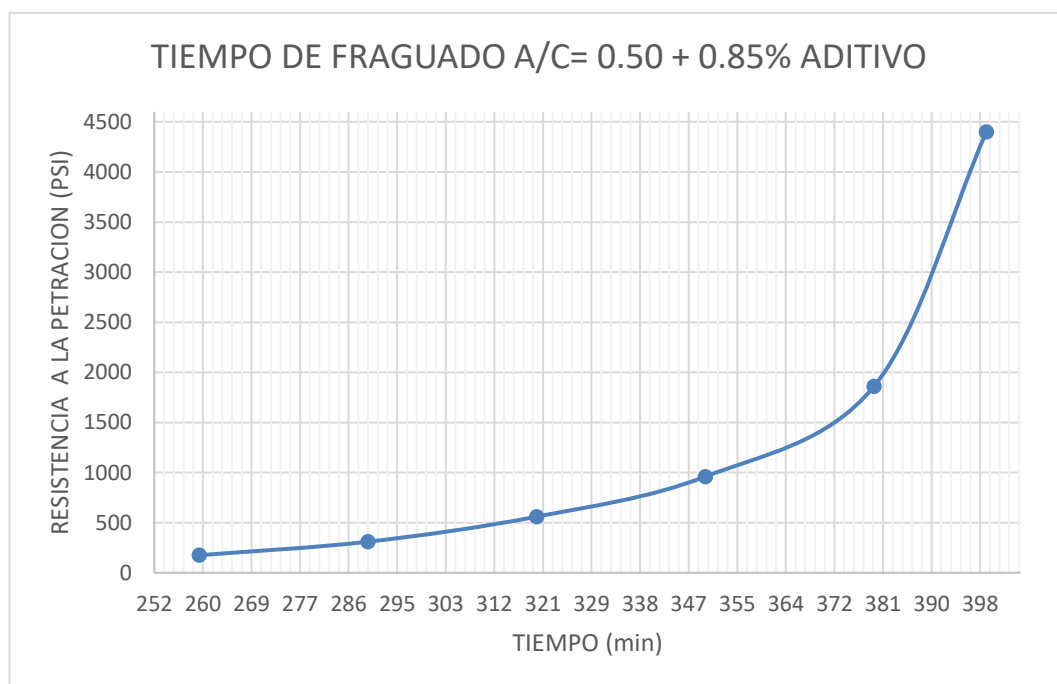
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	03:28	208	143	1.000	143
2	03:58	238	155	0.500	310
3	04:28	268	151	0.250	604
4	04:48	288	119	0.100	1190
5	05:18	318	115	0.050	2300
6	05:38	338	100	0.025	4000



Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

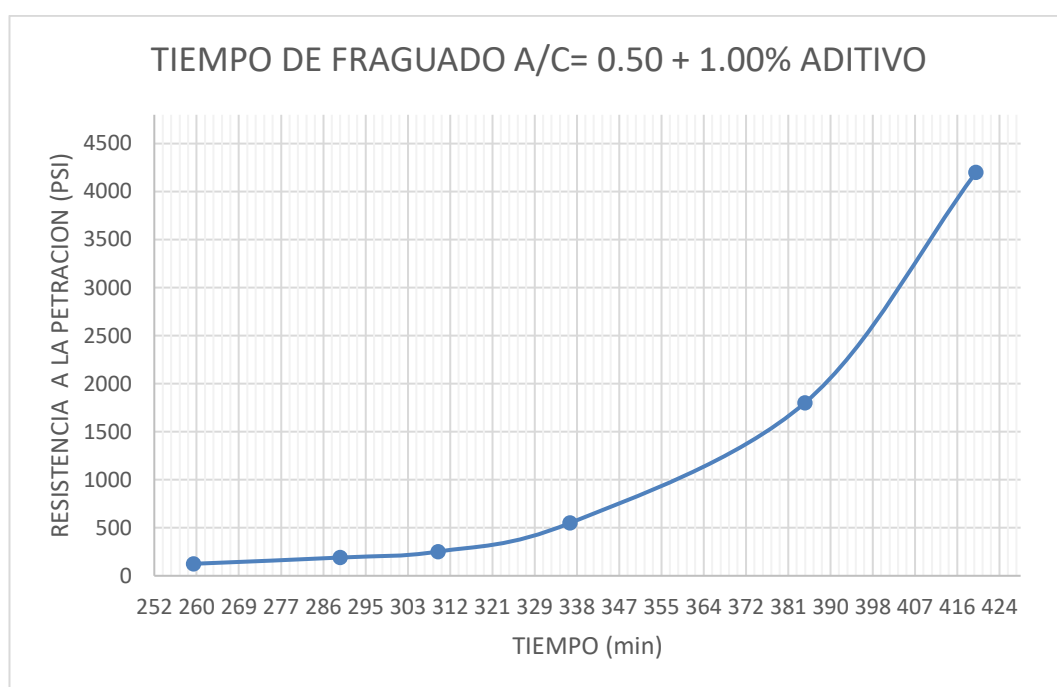
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	04:20	260	175	1.000	175
2	04:50	290	155	0.500	310
3	05:20	320	140	0.250	560
4	05:50	350	96	0.100	960
5	06:20	380	93	0.050	1860
6	06:40	400	110	0.025	4400



Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

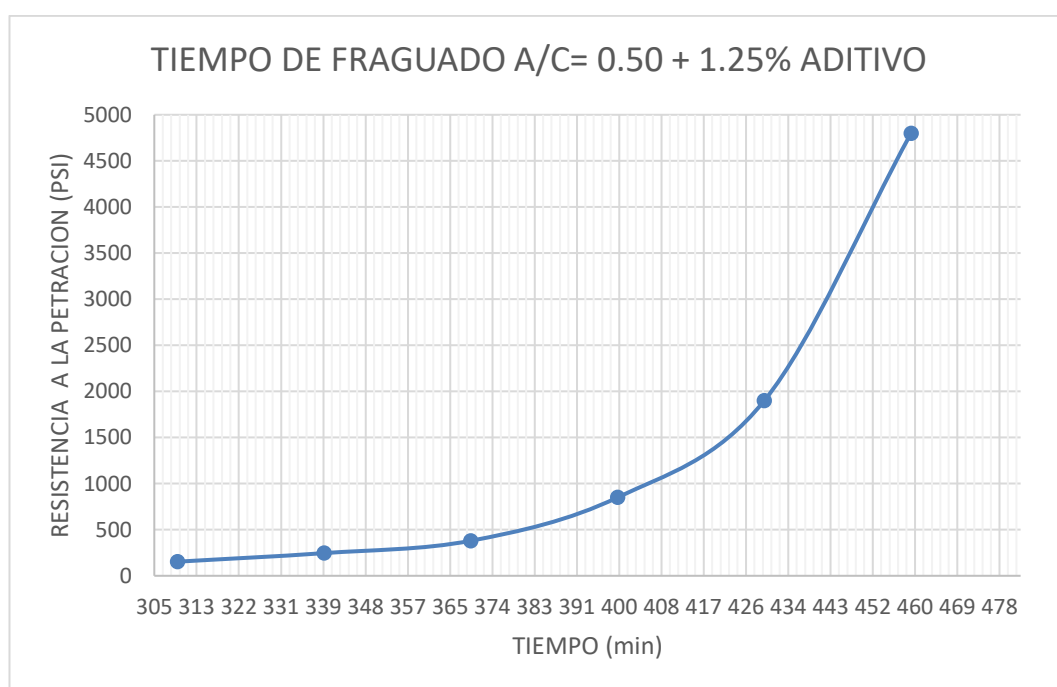
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	04:20	260	125	1.000	125
2	04:50	290	95	0.500	190
3	05:10	310	63	0.250	252
4	05:37	337	55	0.100	550
5	06:25	385	90	0.050	1800
6	07:00	420	105	0.025	4200



Relación agua/cemento=0.50 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

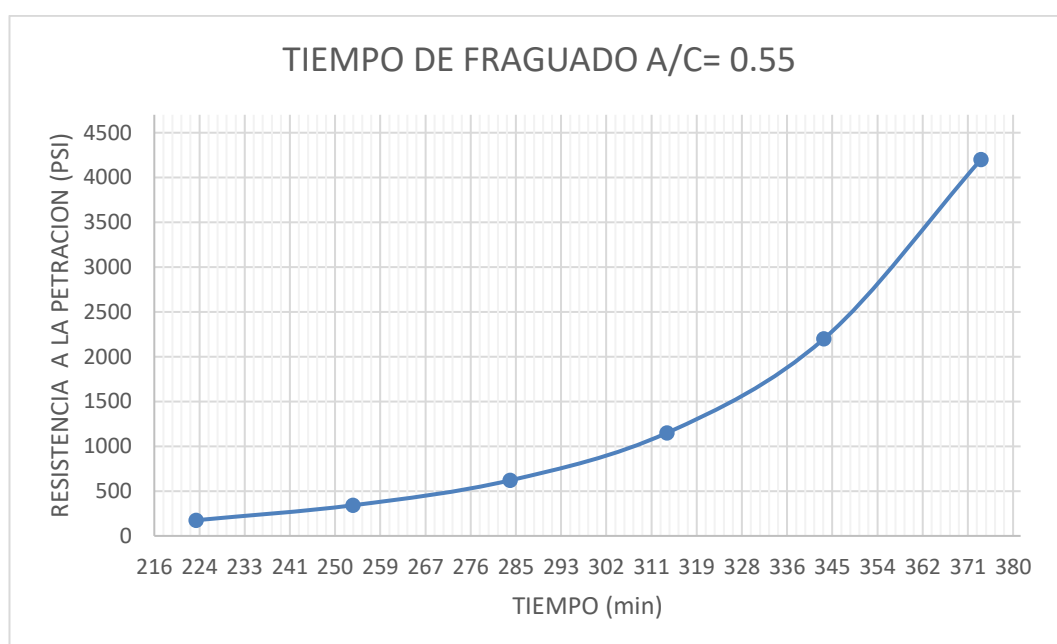
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	05:10	310	153	1.000	153
2	05:40	340	123	0.500	246
3	06:10	370	95	0.250	380
4	06:40	400	85	0.100	850
5	07:10	430	95	0.050	1900
6	07:40	460	120	0.025	4800



Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

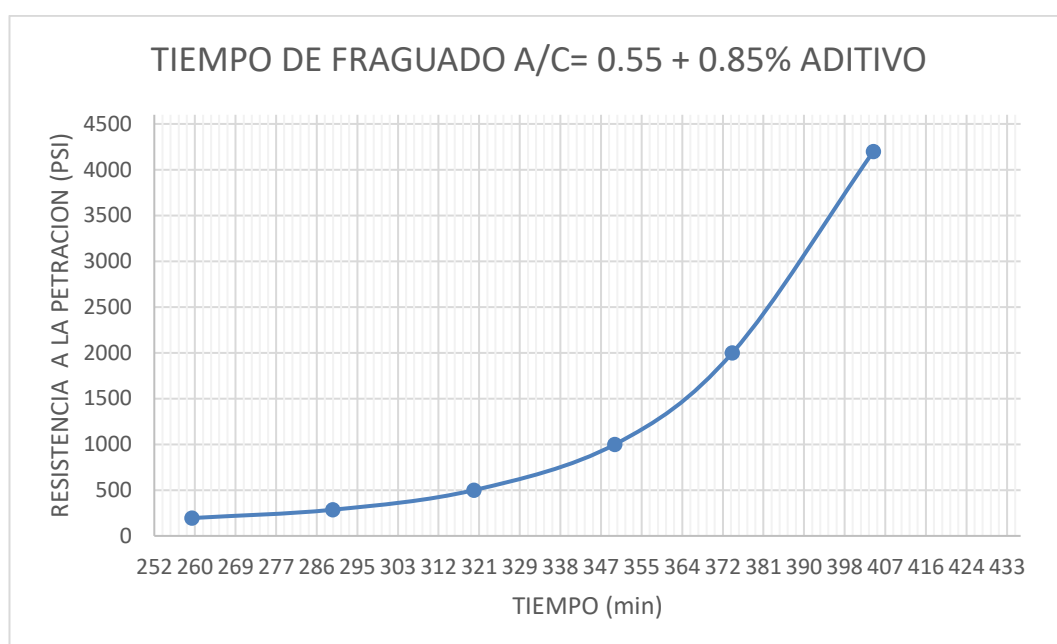
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	03:44	224	175	1.000	175
2	04:14	254	171	0.500	342
3	04:44	284	155	0.250	620
4	05:14	314	115	0.100	1150
5	05:44	344	110	0.050	2200
6	06:14	374	105	0.025	4200



Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+0.85% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

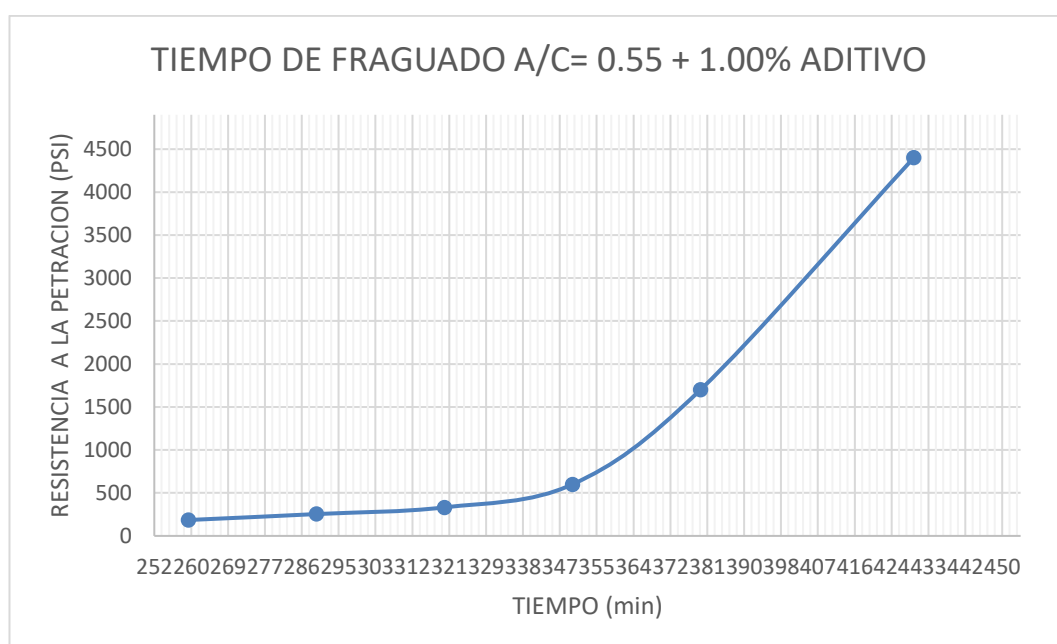
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	04:20	260	195	1.000	195
2	04:50	290	143	0.500	286
3	05:20	320	125	0.250	500
4	05:50	350	100	0.100	1000
5	06:15	375	100	0.050	2000
6	06:45	405	105	0.025	4200



Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+1.00% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

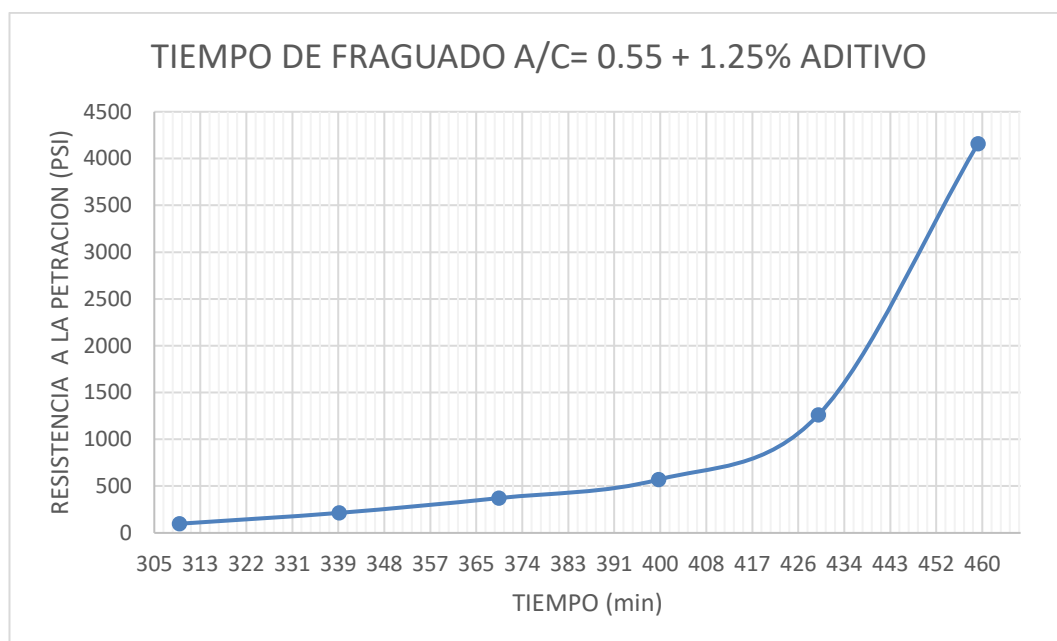
	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	04:20	260	185	1.000	185
2	04:50	290	127	0.500	254
3	05:20	320	83	0.250	332
4	05:50	350	60	0.100	600
5	06:20	380	85	0.050	1700
6	07:10	430	110	0.025	4400



Relación agua/cemento=0.55 (concreto patrón+1.25% de aditivo)

Aguja N°	TIEMPO DE FRAGUADO	Tiempo absoluto	FUERZA	Área de aguja
-------------	-----------------------	--------------------	--------	------------------

	horas	(min)	A (lb)	B (pulg ²)	Resistencia a la penetración (PSI) A/B
1	05:10	310	98	1.000	98
2	05:40	340	107	0.500	214
3	06:10	370	93	0.250	372
4	06:40	400	57	0.100	570
5	07:10	430	63	0.050	1260
6	07:40	460	104	0.025	4160



ANEXO C: ENSAYOS DEL CONCRETO EN EL ESTADO ENDURECIDO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Relación agua/cemento=0.45

Para el concreto patrón

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45			PATRÓN			7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.00	20.81	25497	4020	323.67	330.10
	10.03	21.88				
M2	9.98	20.81	26067	4040	331.56	
	10.03	20.79				
M3	9.97	20.90	26212	4020	335.08	
	9.99	20.94				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45			PATRÓN			14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.07	20.80	26897	4004.2	338.05	345.25
	10.06	20.76				
M2	10.00	20.91	27267	4114.5	348.57	
	9.96	19.95				
M3	10.04	21.06	27612	4101.4	349.12	
	10.03	21.04				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
----------------------------	--	--	--	--	--	--

A/C = 0.45			PATRÓN			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.99	20.89	30966	4074.4	395.46	373.25
	9.98	21.04				
M2	10.05	20.96	30722	3902.7	387.67	
	10.04	20.96				
M3	10.02	20.73	28991	4023.3	365.10	
	10.09	20.83				
M4	10.10	21.05	29344	4071.2	370.28	
	9.99	21.13				
M5	10.06	21.03	29324	4071.6	367.10	
	10.11	21.04				
M6	9.88	21.81	30116	4010.2	392.03	
	9.90	20.86				
M7	9.86	20.67	25310	3966.2	331.81	
	9.85	20.71				
M8	9.87	20.81	27894	4056.9	363.10	
	9.91	20.82				
M9	9.98	20.98	30342	4008.6	386.71	
	10.01	21.14				

Para el concreto patrón + 0.85% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.23	20.93	43860	4121.0	532.57	534.34
	10.25	21.01				
M2	10.23	20.69	45750	4061.1	558.79	
	10.19	20.72				
M3	10.17	20.79	41728	4103.9	511.67	
	10.21	20.87				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45			PATRÓN CON ADITIVO 0.85%			14 días

Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.11 9.95	20.93 20.97	44022	4127.7	557.16	551.90
M2	10.05 10.11	20.77 20.81	45828	4092.4	574.28	
M3	10.07 10.16	20.77 20.73	42128	4052.2	524.26	

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%			28 días	
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.02 10.09	19.94 19.92	49050	4108.3	617.71	639.04
M2	10.03 10.07	19.95 19.93	51835	4013.0	653.43	
M3	9.98 10.08	19.97 19.99	51795	4073.5	655.54	
M4	10.17 10.25	19.96 19.95	54407	4079.8	664.53	
M5	9.96 9.94	19.94 19.92	45785	4181.1	588.83	
M6	10.14 10.18	19.97 19.93	51310	4089.3	632.88	
M7	10.04 10.00	19.98 19.97	52657	4208.6	667.78	
M8	10.06 10.03	19.95 19.93	49131	4100.9	619.96	
M9	9.93 10.01	19.92 19.93	50798	4113.7	650.68	

Para el concreto patrón + 1.00% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.97	21.07	43851	4231.4	560.57	545.17
	9.99	20.93				
M2	9.96	21.17	41994	4180.7	533.08	
	10.07	21.03				
M3	9.92	20.94	42175	4179.4	541.85	
	9.99	20.92				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.11	20.97	45505	4184.5	565.73	580.09
	10.13	21.05				
M2	9.99	21.13	46986	4236.2	597.65	
	10.02	21.19				
M3	9.97	20.98	45083	4156.0	576.90	
	9.98	20.95				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.06	20.67	54468	4031.5	683.90	655.70
	10.08	20.70				
M2	10.09	21.03	50410	4322.9	631.07	
	10.08	20.89				
M3	10.13	20.87	51584	4314.4	644.48	
	10.06	20.93				
M4	10.11	21.56	48009	4073.4	599.82	
	10.08	21.49				
M5	10.03	21.08	54370	4213	688.81	
	10.02	20.98				
M6	10.08	20.53	53659	4074.2	678.45	
	9.99	20.59				

M7	10.11	21.23	52301	4274.7	650.86
	10.12	21.21			
M8	10.13	20.33	53891	4045.6	673.98
	10.05	20.27			
M9	10.01	21.21	51094	4248.4	649.90
	10.00	21.31			

Para el concreto patrón + 1.25% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.98	21.10	52362	4133.6	668.03	655.93
	10.00	21.07				
M2	9.94	20.56	52090	3997.0	666.56	
	10.01	20.57				
M3	10.07	20.87	50480	4224.4	633.20	
	10.08	21.00				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.01	20.68	53862	4034.4	685.79	675.60
	9.99	20.78				
M2	10.08	21.01	53890	4198.2	674.63	
	10.09	21.03				
M3	10.00	21.03	52495	4228.5	666.39	
	10.03	21.07				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				28 días

Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	9.93	20.99	55571	4204.5	713.96	
	9.98	21.02				
M2	9.99	20.73	60143	4186.0	764.24	
	10.03	20.83				
M3	10.05	20.83	56505	4171.0	713.72	
	10.03	20.69				
M4	10.00	21.01	51013	4250.8	651.47	
	9.97	21.00				
M5	9.93	21.07	54946	4409.8	706.64	703.46
	9.97	21.05				
M6	9.95	21.15	52891	4216.9	681.58	
	9.93	21.11				
M7	9.94	21.01	54674	4216.2	698.92	
	10.02	20.93				
M8	10.03	20.50	56988	4104.3	719.82	
	10.05	20.58				
M9	10.07	20.86	54326	4175.8	680.76	
	10.09	20.73				

Para la relación a/c = 0.50

Para el concreto patrón

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50			PATRÓN			7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.01	20.86	25600	4050	324.97	
	10.02	20.97				
M2	10.01	20.80	23821	4040	300.29	299.77
	10.09	20.79				
M3	10.06	20.99	21827	4080	274.06	
	10.08	20.94				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50			PATRÓN			14 días

Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.00	20.71	28500	4004.2	363.24	345.18
	9.99	20.79				
M2	10.11	20.98	27421	4114.5	340.57	
	10.14	20.91				
M3	10.11	20.99	26657	4101.4	331.73	
	10.12	21.03				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.50			PATRÓN			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.89	20.76	27023	4074.4	351.41	361.32
	9.90	20.74				
M2	9.83	20.36	27435	3902.7	358.94	
	9.90	20.30				
M3	9.88	20.72	27368	4023.3	355.54	
	9.92	20.7				
M4	10.05	20.87	29013	4071.2	366.47	
	10.03	20.93				
M5	9.99	20.94	29633	4071.6	374.67	
	10.08	20.84				
M6	10.04	20.93	27581	4010.2	350.83	
	9.97	20.86				
M7	9.97	20.67	28695	3966.2	368.30	
	9.95	20.69				
M8	10.06	20.96	27151	4056.9	342.27	
	10.04	20.98				
M9	10.02	20.72	30420	4008.6	383.48	
	10.08	20.82				

Para el concreto patrón + 0.85% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.50			PATRÓN CON ADITIVO 0.85%			7 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.01	20.93	28623	4121.0	363.35	366.82

	10.02	21.01			
M2	9.93	20.69	28050	4061.1	361.83
	9.94	20.72			
M3	9.97	20.79	29268	4103.9	375.27
	9.96	20.87			

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	9.87	20.93	30113	4127.7	392.38	392.57
	9.90	20.97				
M2	9.86	20.77	29690	4092.4	389.63	
	9.84	20.81				
M3	9.86	20.77	30275	4052.2	395.69	
	9.88	20.73				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	9.89	19.94	36660	4108.3	475.77	456.74
	9.92	19.92				
M2	9.94	19.95	34536	4013.0	446.40	
	9.91	19.93				
M3	9.89	19.97	33091	4073.5	431.62	
	9.87	19.99				
M4	9.92	19.96	35058	4079.8	452.69	
	9.94	19.95				
M5	9.96	19.94	32397	4181.1	417.07	
	9.93	19.92				
M6	9.92	19.97	37016	4089.3	480.39	
	9.89	19.93				
M7	9.88	19.98	34953	4208.6	454.99	
	9.90	19.97				
M8	9.91	19.95	36540	4100.9	473.25	
	9.92	19.93				

M9	9.93	19.92	37022	4113.7	478.53
	9.92	19.93			

Para el concreto patrón + 1.00% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.04	21.07	43261	4231.4	549.17	557.61
	9.99	20.93				
M2	10.03	21.17	44219	4180.7	561.89	
	9.99	21.03				
M3	9.90	20.94	43375	4179.4	561.78	
	9.93	20.92				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.05	20.97	45705	4184.5	573.87	578.32
	10.09	21.05				
M2	10.07	21.13	46579	4236.2	582.53	
	10.11	21.19				
M3	10.06	20.98	46125	4156.0	578.57	
	10.09	20.95				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.95	20.67	45355	4031.5	581.54	610.58
	9.98	20.70				
M2	10.18	21.03	48887	4322.9	603.00	
	10.14	20.89				

M3	10.19	20.87	49824	4314.4	612.14
	10.17	20.93			
M4	10.02	21.56	50271	4073.4	638.79
	10.00	21.49			
M5	10.09	21.08	50751	4213.0	634.08
	10.10	20.98			
M6	10.00	20.53	44043	4074.2	559.09
	10.03	20.59			
M7	10.10	21.23	50332	4274.7	626.36
	10.13	21.21			
M8	10.02	20.33	50151	4045.6	638.54
	9.98	20.27			
M9	10.11	21.21	48591	4248.4	601.71
	10.17	21.31			

Para el concreto patrón + 1.25% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50		PATRÓN CON ADIT. 1.25%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.87	21.10	42371	4133.6	542.74	564.69
	10.07	21.07				
M2	9.69	20.56	44289	3997.0	591.98	
	9.83	20.57				
M3	9.84	20.87	43275	4224.4	559.35	
	10.01	21.00				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.50		PATRÓN CON ADIT. 1.25%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.93	20.68	45923	4034.4	591.79	592.38
	9.95	20.78				
M2	10.03	21.01	47829	4198.2	598.16	
	10.15	21.03				
M3	10.05	21.03	46765	4228.5	587.18	

10.09 21.07

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADIT. 1.25%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.03	20.99	52863	4204.5	667.06	634.93
	10.06	21.02				
M2	10.11	20.73	51384	4186.0	643.26	
	10.06	20.83				
M3	9.98	20.83	50938	4171.0	649.21	
	10.01	20.69				
M4	10.10	21.01	49003	4250.8	610.42	
	10.12	21.00				
M5	10.23	21.07	51658	4409.8	630.33	
	10.20	21.05				
M6	10.02	21.15	51896	4216.9	650.31	
	10.14	21.11				
M7	10.16	21.01	49872	4216.2	619.41	
	10.09	20.93				
M8	9.99	20.50	50881	4104.3	644.61	
	10.06	20.58				
M9	9.94	20.86	46825	4175.8	599.79	
	10.00	20.73				

Para la relación a/c = 0.55

Para el concreto patrón

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.55		PATRÓN				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.95	20.80	22895	3980	292.97	293.06
	10.00	20.74				
M2	10.06	20.94	22640	4080	284.55	

	10.07	20.98			
M3	10.05	20.69	23954	4000	301.66
	10.06	20.65			

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.55			PATRÓN			14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.02	20.86	25695	4036.1	326.18	
	10.01	20.87				
M2	10.06	20.93	25585	4108.2	323.49	328.92
	10.01	21.01				
M3	10.00	20.91	26554	4035.7	337.08	
	10.03	20.92				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL

A/C = 0.55			PATRÓN			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.07	20.75	28446	3987.8	356.46	
	10.09	20.79				
M2	10.05	20.57	26737	3942.1	335.71	
	10.09	20.63				
M3	10.03	20.73	27669	4010.8	349.49	
	10.05	20.81				
M4	10.05	20.89	27808	4063.5	351.25	
	10.03	20.87				
M5	10.11	20.93	26302	4105.7	328.29	335.85
	10.09	20.89				
M6	10.13	21.03	27107	4073.3	335.67	
	10.15	21.01				
M7	10.07	20.79	28433	4040.6	355.59	
	10.11	20.75				
M8	9.99	20.50	26264	3975.2	332.41	
	10.07	20.52				
M9	9.98	20.66	21818	4133.3	277.80	
	10.02	20.68				

Para el concreto patrón + 0.85% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.11	21.04	27766	4144.3	347.94	344.34
	10.05	21.12				
M2	10.07	20.93	26356	4083.1	331.91	
	10.04	20.85				
M3	10.1	21.12	28240	4115.2	353.18	
	10.08	21.01				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				14 días
Muestras	DIAMETR O (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.09	220.93	28351	4127.8	355.98	353.58
	10.05	20.97				
M2	10.05	20.02	27156	4119.2	342.67	
	10.04	21.11				
M3	10.11	20.99	28810	4114	362.10	
	10.02	20.95				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL							
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				28 días	
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)	
M1	9.95	19.95	35814.00	4207.9	459.67	442.91	
	9.97	19.93					
	10.02	19.96					
M2	10.00	19.94	36191.00	4157	459.88		

M3	9.89	19.98	33416.0	4229.7	433.67
	9.92	20.00	0	0	
M4	10.03	19.97	35797.0	4098.4	454.42
	10.00	19.96	0	0	
M5	10.02	19.95	30608.0	4086.7	387.77
	10.03	19.93	0	0	
M6	9.89	19.98	34167.0	4045	443.41
	9.92	19.94	0	0	
M7	9.88	19.99	34852.0	4068.4	453.68
	9.90	19.98	0	0	
M8	9.92	19.96	33444.0	4102.1	431.85
	9.94	19.94	0	0	
M9	9.96	19.93	35878.0	4165.7	461.88
	9.93	19.94	0	0	

Para el concreto patrón + 1.00% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.03	21.03	35279	4168.9	444.73	
	10.07	20.99				
M2	9.95	20.61	35563	4048.2	454.62	448.93
	10.01	20.53				
M3	9.98	20.63	35177	4030.6	447.44	
	10.03	20.65				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.07	20.93	38139	4195.3	479.35	478.41
	10.06	20.99				
M2	10.06	20.83	38223	4097.7	479.93	
	10.08	20.93				
M3	10.06	20.80	37868	4090.7	475.94	
	10.07	20.79				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.04	20.95	49435	4218.4	620.71	623.59
	10.1	20.99				
M2	9.99	20.33	50135	4003.6	637.70	
	10.02	20.29				
M3	10.03	21.13	48394	4204.8	611.27	
	10.05	21.03				
M4	10.01	20.85	49584	4145.3	622.58	
	10.13	20.88				
M5	10.05	20.73	49096	4117.5	617.68	
	10.07	20.70				
M6	10.03	21.03	50069	4202.4	629.92	
	10.09	21.08				
M7	10.13	20.88	50175	4193.4	627.50	
	10.05	20.90				
M8	9.93	20.49	51693	4026.1	664.14	
	9.98	20.48				
M9	10.10	20.99	46767	4186.3	580.84	
	10.15	20.93				

Para el concreto patrón + 1.25% aditivo

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
----------------------------	--	--	--	--	--	--

A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				7días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.09	20.77	40991	4140.5	515.71	546.27
	10.03	20.97				
M2	9.99	20.95	43853	4223.1	556.13	
	10.05	21.03				
M3	9.99	20.93	44531	4216.3	566.99	
	10.01	21.05				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				14 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.04	20.85	42991	4162.9	544.11	569.26
	10.02	20.86				
M2	10.09	20.84	45780	4139.9	577.68	
	10.00	20.88				
M3	10.09	20.99	46531	4208	585.99	
	10.02	21.07				

ENSAYO DE COMPRESION AXIAL						
A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.00	20.97	46550	4176.3	590.92	623.59
	10.03	20.83				
M2	10.04	21.03	50431	4222.3	633.84	
	10.09	20.99				
M3	10.03	21.00	46314	4250.7	580.94	
	10.12	21.11				
M4	10.03	20.03	48731	4225.7	615.53	
	10.05	20.04				
M5	10.05	20.73	49717	4154.2	626.11	
	10.06	20.77				
M6	9.99	20.74	49836	4054.2	633.26	

	10.03	20.68			
M7	10.01	20.97	52209	4159.7	658.15
	10.09	20.86			
M8	10.11	20.99	52089	4226.6	649.51
	10.10	21.18			
M9	10.08	20.93	49852	4172.2	624.08
	10.09	20.98			

RESISTENCIAS A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.

Resistencias a la tracción diametral para la relación a/c=0.45

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL						
A/C = 0.45			PATRÓN			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	9.97	20.93	14121	4209.2	43.08	
	9.96	20.95				
M2	9.96	20.92	14313	4167.5	43.77	43.52
	9.95	20.90				
M3	9.93	20.86	14210	4151.7	43.72	
	9.92	20.84				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL						
A/C = 0.45			PATRÓN CON ADITIVO 0.85%			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
M1	10.02	20.53	17323	3973.8	53.56	
	10.05	20.51				
M2	10.05	20.56	17108	4070.9	52.51	53.32
	10.11	20.59				
M3	10.04	20.41	17310	4064	53.90	
	10.00	20.40				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL						
A/C = 0.45			PATRÓN CON ADITIVO 1.00%			28 días

Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.03	20.94	17843	4252.6	53.98	54.83
	10.04	21.00				
M2	9.96	20.90	18156	4182.8	55.57	
	9.93	20.93				
M3	10.00	20.80	17918	4139	54.95	
	9.98	20.76				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.45		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.92	21.07	19562	4229.7	59.29	58.79
	10.04	21.02				
M2	9.91	21.63	20227	4106.5	59.53	
	10.06	21.70				
M3	9.88	21.66	19405	4114.9	57.56	
	9.95	21.63				

Resistencias a la tracción diametral para la relación a/c=0.50

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.50		PATRÓN				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.99	20.92	13692	4159.2	41.76	41.17
	9.93	20.99				
M2	9.89	20.62	13179	4117.5	40.98	
	9.93	20.70				
M3	9.92	20.91	13302	4101.7	40.77	
	9.93	20.95				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.94	20.53	14536	4023.8	45.35	46.14
	9.95	20.51				
M2	9.99	20.56	15622	4120.9	48.43	
	9.97	20.59				
M3	9.95	20.41	14233	4114	44.63	
	9.95	20.40				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.14	20.94	17641	4252.6	52.92	52.80
	10.10	21.00				
M2	10.05	20.90	17420	4182.8	52.89	
	10.00	20.93				
M3	10.10	20.80	17268	4139	52.59	
	10.02	20.76				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.50		PATRÓN CON ADITIVO 1.25%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.13	20.97	17881	4229.7	53.73	53.84
	10.10	20.92				
M2	10.00	21.53	18225	4106.5	53.94	
	9.95	21.6				
M3	10.03	21.56	18168	4114.9	53.85	
	9.91	21.53				

Resistencias a la tracción diametral para la relación a/c=0.55

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.55			PATRÓN			28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.97	20.71	12253	4031.6	37.75	36.76
	9.98	20.72				
M2	10.00	20.68	11734	3997.3	36.10	
	10.02	20.66				
M3	10.01	20.75	11894	4036.1	36.44	
	10.02	20.75				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 0.85%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	10.00	20.53	14433	4167.2	44.70	43.98
	10.00	20.58				
M2	9.95	20.52	13734	4023.9	42.77	
	9.97	20.53				
M3	9.91	20.71	14344	4063.4	44.48	
	9.92	20.70				

ENSAYO DE TRACCIÓN DIAMETRAL

A/C = 0.55		PATRÓN CON ADITIVO 1.00%				28 días
Muestras	DIAMETRO (cm)	altura (cm)	fuerza (kgf)	peso (g)	Resistencia (kg/cm²)	Resistencia promedio (kg/cm²)
M1	9.94	20.77	16233	4135.4	49.83	49.59
	10.04	20.75				
M2	10.00	20.87	15834	4128.9	48.53	
	9.93	20.82				
M3	9.94	20.56	16244	4061.3	50.42	
	9.90	20.79				

ANEXO D: FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO MasterGlenium SCC 3800



MasterGlenium SCC 3800

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

DESCRIPCIÓN

MasterGlenium SCC 3800 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Esta tecnología combina un diseño molecular de vanguardia para lograr un valor excepcional y preciso en todas las fases del proceso de construcción del concreto.

El aditivo MasterGlenium SCC 3800 es muy efectivo en la producción de mezclas de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto auto compactante (SCC). El uso del aditivo MasterGlenium SCC 3800 proporciona características de fraguado más rápidas como, asimismo mejora la resistencia a la compresión inicial.

MasterGlenium SCC 3800 cumple con los requisitos de la norma provisional ASTM C494 /C494 M para aditivos Tipo A, (reductores de agua), y tipo F (reductores de agua de alto rango).

- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad.
- Reología controlada.
- Desarrollo de resistencias iniciales altas.
- Produce concretos cohesivos y sin segregación.
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados.
- Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana.
- Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado.
- Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra.
- Disminución del concreto rechazado.
- Optimiza el costo de las mezclas de concreto.

USOS RECOMENDADOS

- Concreto que requiera una reducción de agua de 5 a 40%.
- Aplicaciones donde el control de manejabilidad y tiempos de fraguado sea crítico.
- Concretos que requieren una fluidez elevada, mayor estabilidad, alta resistencia inicial y final y durabilidad (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track).
- Fabricación de mezclas de concreto Rheodinámico y auto compactante (SCC).

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Excelente desarrollo de resistencia inicial.
- Adecuado control de fraguado.
- Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado.
- Mantiene el aire incorporado consistente.
- Flexibilidad en la dosificación.

RECOMENDACIONES DE USO

Datos de la mezcla:

El concreto producido con el aditivo MasterGlenium SCC 3800 alcanza significativamente mayor resistencia en edad temprana que los aditivos reductores de agua de alto rango base policarboxilatos de la primera generación. MasterGlenium SCC 3800 también permite la obtención de un equilibrio perfecto entre retención de manejabilidad y ciertas características de fraguado que proporcionan la eficiencia en la colocación y acabado del concreto.

Dosificación:

La dosis que se recomienda usar de MasterGlenium SCC 3800 está en el rango de 800 a 1500 ml/100 kg de cementante. Es posible que sea necesario cambiar la dosificación debido a las variaciones en los materiales de concreto y de las condiciones y/o aplicaciones en la obra. En tales casos, contacte a su representante técnico.

Mezclado:

El aditivo MasterGlenium SCC 3800, deben adicionarse luego de la tanda inicial de agua y de otros aditivos, de ser el caso.



MasterGlenium SCC 3800

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

CONSIDERACIONES

Temperatura:

MasterGlenium SCC 3800 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si MasterGlenium SCC 3800 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica.

DATOS TECNICOS

Aspecto:	Líquido
Color:	Marrón
Densidad:	1,05 g/cm ³
pH:	Mín 3.0

ALMACENAMIENTO

MasterGlenium SCC 3800 tiene una vida útil mínima de 12 meses, la misma que puede prolongarse dependiendo de las condiciones de almacenamiento. En todos los casos el producto deberá ser homogenizado antes de ser usado.

PRESENTACIÓN

MasterGlenium SCC 3800 se suministra en tambores de 208 L, tanques de 1000 L y a granel.

SEGURIDAD

Lea, entienda y siga la información contenida en la Hoja Datos de Seguridad (SDS) y de la etiqueta del producto antes de usar. La SDS puede obtenerse solicitando a su representante de ventas de Master® Builders Solutions.

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura A.01: Ensayo de granulometría de agregados.



Figura A.02: Cuarteo para ensayos y obtener propiedades del agregado fino.



Figura A.03: Cuarteo para ensayos y obtener propiedades del agregado grueso.



Figura A.04: Ensayos de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.



Figura A.05: Ensayos de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.



Figura A.06: Ensayos de peso unitario compactado del agregado global.



Figura A.07: Ensayo de consistencia de las muestras de concreto.



Figura A.08: Ensayo de peso unitario de las muestras del concreto.



Figura A.09: Ensayo de contenido de aire mediante la olla de Washington de la muestra de concreto.



Figura A.10: Ensayo Exudación para cada diseño de concreto.



Figura A.11: Ensayo de tiempo de fragua mediante las agujas de Vicat para cada diseño de concreto.



Figura A.12: Ensayos de resistencia a la compresión axial para cada diseño de concreto.



Figura A.13: Ensayos de resistencia a la tracción diametral para cada diseño de concreto.