



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE ADITIVOS
ACELERANTES DE RESISTENCIA EN LAS PROPIEDADES
FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN EN
CONCRETOS DE $F'c=210$ KG/CM², PUNO-2024.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. HEBERT FRANCISCO QQUELCCA CHURATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2025



HEBERT FRANCISCO QQUELCCA CHURATA

INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES DE RESISTENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSIC...

- Tesis de pregrado
- Tesis de pregrado
- Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:511966434

Fecha de entrega

12 oct 2025, 8:55 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

12 oct 2025, 9:03 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_HEBERT_FRANCISCO_QQUELCCA_CHURATA.pdf

Tamaño del archivo

3.9 MB

196 páginas

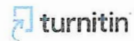
46.967 palabras

232.522 caracteres

Ing. Samuel H. Caceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
C.O.D. UNA Nº 2007537

Ing. Félix Rojas Chahuates
DOCENTE UNIVERSITARIO
C.O.D. UNA Nº 2051221





12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

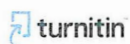
No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Ing. Samuel Huaguisto Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007537

Ing. Félix Rojas Chahuares
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2051221





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES DE
RESISTENCIA EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE
PRODUCCIÓN EN CONCRETOS DE $f'c=210$ KG/CM², PUNO-2024.

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. HEBERT FRANCISCO QQUELCCA CHURATA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

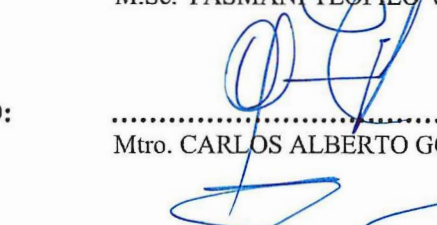
PRESIDENTE:


.....
M.C. GINO FRANK LAQUE CÓRDOVA

PRIMER MIEMBRO:


.....
M.Sc. YASMÁN TEOFILLO VITULAS QUILLE

SEGUNDO MIEMBRO:


.....
Mtro. CARLOS ALBERTO GONZALES GUTIERREZ

ASESOR DE TESIS:



.....
Dr. SAMUEL HUAQUISTO CÁCERES

ÁREA: Construcciones

TEMA: Aditivos acelerantes y la tecnología del concreto

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 7 de octubre del 2025




M.C. Juana I. Zavaleta Gómez
Dr. En Matemáticas



DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profundo amor y gratitud, a quienes han sido mi base y mi fuerza:

A mi madre Catalina Churata, por su sacrificio silencioso y su fe inquebrantable en cada paso que di.

A mi padre Teodoro Qquelcca, por enseñarme el valor del esfuerzo honesto y el trabajo constante.

A mis hermanos, por su compañía, sus palabras oportunas y el apoyo constante en los momentos que más lo necesité.

A toda mi familia y amigos, quienes, con su presencia o desde la distancia, fueron parte del camino que hoy se culmina.

Hebert Francisco Qquelcca Churata



AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios, por darme la vida, fuerza y claridad en los momentos de mayor desafío.

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, y en especial a la escuela profesional de Ingeniería Civil por la formación académica impartida y su contribución en mi formación profesional.

A mi asesor de tesis Dr. Ing. Samuel Huaquisto Cáceres, por su orientación, paciencia y apoyo constante para culminar este trabajo de investigación.

A los miembros del jurado M.c. Ing. Gino Frank Laque Córdova, M.Sc. Ing. Yasmani Teófilo Vitulas Quille y Mtro. Ing. Carlos Alberto Gonzales Gutiérrez por su tiempo, recomendaciones y aportes críticos que enriquecieron el contenido de esta investigación.

A mis familiares, compañeros y amigos que formaron parte de este proceso, mi más sincero reconocimiento.

Hebert Francisco Qquelcca Churata



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	22
ABSTRACT.....	23
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	28
1.2.1. Pregunta general.....	28
1.2.2. Preguntas específicas	29
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.3.1. Hipótesis general	29
1.3.2. Hipótesis específicas	29
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	30
1.4.1. Importancia del estudio	32
1.4.2. Relevancia del estudio.....	32
1.4.2.1. Credibilidad.....	33
1.4.2.2. Transferibilidad	33
1.4.2.3. Fidelidad.....	33



1.4.2.4. Confirmabilidad	33
1.4.3. Consecuencias del estudio.....	34
1.4.4. Limitaciones del estudio	34
1.4.5. Cuestiones éticas	34
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
1.5.1. Objetivo general	35
1.5.2. Objetivos específicos	35

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
2.1.1. Antecedentes internacionales	36
2.1.2. Antecedentes nacionales	38
2.1.3. Antecedentes locales	47
2.2. MARCO TEÓRICO	50
2.2.1. Aditivos para concreto	50
2.2.1.1. Tipos de aditivo.....	50
2.2.1.2. Aditivos acelerantes	51
2.2.1.3. Clasificación de los aditivos acelerantes	52
2.2.1.4. Ventajas de los aditivos acelerantes	54
2.2.1.5. Requisitos de NTP 334.088 para aditivos acelerantes	54
2.2.1.6. Adición de aditivo al concreto	55
2.2.2. Propiedades físicas del concreto fresco.....	56
2.2.2.1. Temperatura del concreto.....	56
2.2.2.2. Asentamiento del concreto	57
2.2.2.3. Peso unitario del concreto	58



2.2.3.	Tiempo de fraguado	59
2.2.4.	Propiedades mecánicas del concreto	61
2.2.4.1.	Resistencia a la compresión	61
2.2.4.2.	Factores que inciden la resistencia	62
2.2.5.	Costo de producción del concreto	64
2.2.5.1.	Costos directos	64
2.2.5.2.	Costos indirectos	66
2.2.5.3.	Análisis de precios unitarios	66
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	66
2.3.1.	El concreto	66
2.3.2.	Cemento portland	67
2.3.2.1.	Composición química del cemento portland	67
2.3.2.2.	Cementos portland según norma	69
2.3.2.3.	Cementos hidráulicos adicionados	70
2.3.2.4.	Cementos hidráulicos según su desempeño	70
2.3.2.5.	Calor de hidratación	70
2.3.3.	Agregados	72
2.3.3.1.	Agregado fino.....	72
2.3.3.2.	Granulometría del agregado fino.....	72
2.3.3.3.	Módulo de fineza.....	73
2.3.3.4.	Agregado grueso	73
2.3.3.5.	Granulometría del agregado grueso	74
2.3.3.6.	Tamaño máximo y máximo nominal del agregado grueso	74
2.3.3.7.	Módulo de finura del agregado grueso.....	75
2.3.4.	Agua para el concreto.....	75



2.4. MARCO NORMATIVO.....	76
2.4.1. NTP 339.184 (2021).....	76
2.4.2. NTP 339.035 (2022).....	77
2.4.3. NTP 339.046 (2019).....	77
2.4.4. NTP 334.006 (2019).....	77
2.4.5. NTP 339.034 (2021).....	77

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	78
3.1.1. Tipo de investigación	78
3.1.2. Enfoque de investigación	78
3.1.3. Nivel de investigación.....	78
3.1.4. Diseño de investigación	79
3.1.5. Ubicación del lugar de estudio.....	79
3.1.6. Población y muestra de estudio.....	80
3.1.6.1. Población.....	80
3.1.6.2. Muestra.....	80
3.1.7. Operacionalización de variables	81
3.1.8. Periodo de estudio	82
3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	83
3.2.1. Medida de tendencia central - Media aritmética	83
3.2.2. Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk	83
3.2.2.1. Hipótesis de normalidad.....	84
3.2.2.2. Criterio de decisión	84
3.2.3. Prueba de ANOVA de un factor	84



3.2.3.1. Definir las hipótesis.....	85
3.2.3.2. Identificar el valor P.....	85
3.2.3.3. Criterio de decisión	85
3.2.4. Prueba post hoc de Tukey	85
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	86
3.3.1. Estudio de materiales	86
3.3.2. Objetivo 1: Medir las propiedades físicas del concreto fresco	86
3.3.3. Objetivo 2: Evaluar la resistencia a compresión del concreto	87
3.3.4. Objetivo 3: Analizar el costo de producción del concreto	87
3.4. MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN	88
3.4.1. Cemento	88
3.4.2. Aditivos acelerantes de resistencia.....	89
3.4.3. Agregados	91
3.4.4. Agua	93
3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	94
3.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	94
3.6.1. Determinación de la densidad del cemento.....	94
3.6.2. Análisis granulométrico por tamizado	95
3.6.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino	95
3.6.2.2. Análisis granulométrico del agregado grueso	96
3.6.3. Peso específico y absorción de agregados	97
3.6.3.1. Peso específico y absorción del agregado fino.....	97
3.6.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso	97
3.6.4. Peso unitario suelto y compactado de agregados	98
3.6.4.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino	98



3.6.4.2. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.....	99
3.6.5. Contenido de humedad del agregado fino y grueso	100
3.7. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI 211. 101	
3.8. ELABORACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO	102
3.8.1. Elaboración de probetas de concreto.....	102
3.8.1.1. Equipos y materiales	102
3.8.1.2. Procedimiento.....	103
3.8.2. Curado de probetas de concreto	103
3.9. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	105
3.9.1. Ensayo de temperatura del concreto.....	105
3.9.1.1. Equipos y materiales	105
3.9.1.2. Procedimiento.....	105
3.9.2. Ensayo de asentamiento del concreto.....	106
3.9.2.1. Equipos y materiales	106
3.9.2.2. Procedimiento.....	106
3.9.3. Ensayo de peso unitario del concreto.....	107
3.9.3.1. Equipos y materiales	107
3.9.3.2. Procedimiento.....	108
3.9.3.3. Cálculos.....	108
3.9.4. Ensayo de tiempo de fraguado	109
3.9.4.1. Equipos y materiales	109
3.9.4.2. Procedimiento.....	110
3.9.4.3. Cálculos.....	111
3.10. ENSAYO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	112
3.10.1. Ensayo de resistencia a la compresión	112



3.10.1.1. Equipo e instrumentos:.....	112
3.10.1.2. Procedimiento:	112
3.10.1.3. Cálculos.....	113

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO....	114
4.1.1. Resultado de la temperatura del concreto	114
4.1.2. Resultados del asentamiento del concreto.....	116
4.1.3. Resultados del peso unitario del concreto	117
4.1.4. Resultados del tiempo de fraguado	119
4.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	124
4.2.1. Resistencia a compresión a los 3 días	124
4.2.2. Resistencia a compresión a los 5 días	125
4.2.3. Resistencia a compresión a los 7 días	127
4.2.4. Resistencia a compresión a los 28 días	128
4.2.5. Resumen de la resistencia a compresión del concreto	130
4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTOS.....	132
4.3.1. Resumen de costos	135
4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	137
4.4.1. Prueba de normalidad para el primer objetivo específico	137
4.4.1.1. Para la temperatura del concreto	137
4.4.1.2. Para el asentamiento del concreto	138
4.4.1.3. Para el peso unitario del concreto	139
4.4.2. Prueba de ANOVA para el primer objetivo específico.....	141
4.4.2.1. Para la temperatura del concreto	141



4.4.2.2. Para el asentamiento del concreto	142
4.4.2.3. Para el peso unitario del concreto	143
4.4.3. Prueba de Tukey para el primer objetivo específico	145
4.4.3.1. Para la temperatura del concreto	145
4.4.3.2. Para el asentamiento del concreto	146
4.4.3.3. Para el peso unitario del concreto	147
4.4.4. Prueba de normalidad para el segundo objetivo específico	148
4.4.4.1. Para la resistencia a compresión a 3 días	149
4.4.4.2. Para la resistencia a compresión a 5 días	150
4.4.4.3. Para la resistencia a compresión a 7 días	151
4.4.4.4. Para la resistencia a compresión a 28 días	152
4.4.5. Prueba de ANOVA para el segundo objetivo específico	153
4.4.5.1. Para la resistencia a compresión a los 3 días.....	153
4.4.5.2. Para la resistencia a compresión a los 5 días.....	154
4.4.5.3. Para la resistencia a compresión a los 7 días.....	155
4.4.5.4. Para la resistencia a compresión a los 28 días.....	156
4.4.6. Prueba de Tukey para el segundo objetivo específico	156
4.4.6.1. Para la resistencia a compresión a 3 días	157
4.4.6.2. Para la resistencia a compresión a 5 días	158
4.4.6.3. Para la resistencia a compresión a 7 días	159
4.4.6.4. Para la resistencia a compresión a 28 días	160
4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	161
4.5.1. Primer objetivo específico.....	161
4.5.2. Segundo objetivo específico	163
4.5.3. Tercer objetivo específico	164



4.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS AUTORES	164
4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	169
4.7.1. Discusión de resultados del primer objetivo específico	169
4.7.1.1. Temperatura del concreto	169
4.7.1.2. Asentamiento del concreto	170
4.7.1.3. Peso unitario del concreto	171
4.7.1.4. Tiempo de fraguado del cemento	171
4.7.2. Discusión de resultados del segundo objetivo específico	173
4.7.3. Discusión de resultados del tercer objetivo específico.....	177
V. CONCLUSIONES.....	178
VI. RECOMENDACIONES	181
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	183
ANEXOS.....	194



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Tiempo de fraguado del concreto según NTP 334.088..... 54
Tabla 2	Resistencia a la compresión mínima, (%) respecto al control 55
Tabla 3	Temperatura mínima del concreto según la norma NTP 339.114 57
Tabla 4	Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto según la edad 62
Tabla 5	Edad de ensayo y tolerancias permisibles..... 62
Tabla 6	Factores que inciden la resistencia del concreto 63
Tabla 7	Costo de hora hombre en obras de edificación (periodo 2024-2025)..... 65
Tabla 8	Límite granulométrico para el agregado fino..... 73
Tabla 9	Requisitos para el agregado grueso de huso granulométrico 57 74
Tabla 10	Requisitos del agua para el concreto..... 76
Tabla 11	Muestra de probetas de concreto para ensayo de resistencia a compresión 81
Tabla 12	Operacionalización de variables de la investigación 82
Tabla 13	Características técnicas del cemento Yura tipo HS 88
Tabla 14	Características de los aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10 90
Tabla 15	Coordenadas UTM de la cantera Cutimbo..... 92
Tabla 16	Cantidad de materiales según dosis de aditivos para 1 m ³ de concreto 102
Tabla 17	Resultados del ensayo de temperatura del concreto 114
Tabla 18	Resultados del asentamiento del concreto fresco..... 116
Tabla 19	Resultados del peso unitario del concreto..... 118
Tabla 20	Penetración con aguja Vicat en función del tiempo..... 120
Tabla 21	Tiempo de fraguado inicial y final del cemento con aditivos acelerantes . 121
Tabla 22	Resultados de resistencia a compresión del concreto a los 3 días 124
Tabla 23	Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 5 días 126
Tabla 24	Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 7 días 127
Tabla 25	Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 28 días 128
Tabla 26	Análisis de precios unitarios del concreto patrón $f'c=210$ kg/cm ² 132
Tabla 27	Análisis de precios unitario del concreto CP + 2.5% de SR-1..... 133
Tabla 28	Análisis de precios unitarios del concreto CP + 1.0 % de PR 10 134
Tabla 29	Resumen de costos por 1 m ³ del concreto patrón y con aditivos..... 135
Tabla 30	Prueba de normalidad para la temperatura..... 138



Tabla 31	Prueba de normalidad para el asentamiento del concreto	139
Tabla 32	Prueba de normalidad para el peso unitario del concreto	140
Tabla 33	Prueba de ANOVA Para la temperatura del concreto	142
Tabla 34	Prueba de ANOVA para el asentamiento del concreto.....	143
Tabla 35	Prueba de ANOVA para el peso unitario del concreto	144
Tabla 36	Prueba de Post hoc de Tukey para la temperatura del concreto.....	146
Tabla 37	Prueba de Post hoc de Tukey para el asentamiento del concreto.....	147
Tabla 38	Prueba de post hoc de Tukey para el peso unitario del concreto	147
Tabla 39	Prueba de normalidad a 3 días de resistencia a compresión	150
Tabla 40	Prueba de normalidad a 5 días de resistencia a compresión	150
Tabla 41	Prueba de normalidad a 7 días de resistencia a compresión	151
Tabla 42	Prueba de normalidad a 28 días de resistencia a compresión	152
Tabla 43	Prueba de ANOVA de un factor a 3 días de resistencia a compresión	154
Tabla 44	Prueba de ANOVA de un factor a 5 días de resistencia a compresión	155
Tabla 45	Prueba de ANOVA de un factor a 7 días de resistencia a compresión	155
Tabla 46	Prueba de ANOVA de un factor a 28 días de resistencia a compresión	156
Tabla 47	Prueba post hoc de Tukey a los 3 días de resistencia a compresión	157
Tabla 48	Prueba post hoc de Tukey a los 5 días de resistencia a compresión	158
Tabla 49	Prueba post hoc de Tukey a los 7 días de resistencia a compresión	159
Tabla 50	Prueba post hoc de Tukey a los 28 días de resistencia a compresión	160
Tabla 51	Resultados de antecedentes sobre propiedades físicas del concreto fresco	165
Tabla 52	Resultados de antecedentes sobre la resistencia a compresión	166
Tabla 53	Discusión de costos del concreto	177



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Generación de calor - hidratación para concretos con y sin acelerante.....	53
Figura 2 Ensayo de asentamiento.	58
Figura 3 Desarrollo del calor de hidratación con el tiempo.....	71
Figura 4 Ubicación geográfica de la provincia de Puno	79
Figura 5 Cemento Yura Max tipo HS	89
Figura 6 Coloración de los aditivos acelerantes de resistencia.....	90
Figura 7 Ubicación de la cantera	91
Figura 8 Acarreo de agregados de la cantera de Cutimbo	92
Figura 9 Material agregado para traslado al laboratorio	93
Figura 10 Medición del PH del agua	93
Figura 11 Procedimiento experimental.....	94
Figura 12 Determinación de la densidad del cemento Yura Max tipo HS	95
Figura 13 Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino.....	96
Figura 14 Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso	96
Figura 15 Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.....	97
Figura 16 Ensayo de densidad relativa y absorción del agregado grueso.....	98
Figura 17 Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino	99
Figura 18 Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.....	100
Figura 19 Ensayo de contenido de humedad del agregado fino	100
Figura 20 Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso	101
Figura 21 Elaboración de probetas de concreto	103
Figura 22 Curado de probetas de concreto a temperatura ambiente.....	104
Figura 23 Lectura de temperatura de agua de curado	104



Figura 24	Medición de la temperatura del concreto fresco.....	105
Figura 25	Ensayo de asentamiento del concreto fresco	107
Figura 26	Ensayo de peso unitario del concreto	109
Figura 27	Ensayo de tiempo de fraguado mediante de método Vicat	112
Figura 28	Ensayo de resistencia a la compresión simple.....	113
Figura 29	Temperaturas del concreto patrón y los grupos experimentales	115
Figura 30	Asentamientos del concreto patrón y los grupos experimentales.....	117
Figura 31	Pesos unitarios del concreto patrón y los grupos experimentales	118
Figura 32	Comparación del tiempo de fraguado inicial y final	122
Figura 33	Penetración vs Tiempo para la muestra patrón y aditivos acelerantes	123
Figura 34	Resistencia compresión del concreto a los 3 días.....	125
Figura 35	Resistencia compresión del concreto a los 5 días.....	126
Figura 36	Resistencia compresión del concreto a los 7 días.....	128
Figura 37	Resistencia compresión del concreto a los 28 días.....	129
Figura 38	Resumen de resistencia a compresión del concreto a 3, 5, 7 y 28 días	130
Figura 39	Curva de desarrollo de resistencia a compresión del concreto.....	131
Figura 40	Comparación de costos por 1 m ³ del concreto	136



ACRÓNIMOS

C ₃ A:	Aluminato tricálcico
ACI:	American Concrete Institute
ASTM:	American Society for Testing and Materials
APU:	Análisis de precios unitarios
ANOVA:	Análisis de varianza
CPC 30R:	Cemento Portland Compuesto con resistencia mínima de 30 MPa
Cm ² :	Centímetros cuadrados
Cm ³ :	Centímetros cúbicos
CP:	Concreto patrón
C ₄ AF:	Ferroaluminato tetracálcico
°C:	Grados centígrados
g:	Gramos
HS:	High Sulfate Resistance
Ha:	Hipótesis alterna
Ho:	Hipótesis nula
INACAL:	Instituto nacional de la calidad
kg:	Kilogramo
kg/m ³ :	Kilogramo por metro cúbico
kg/cm ² :	Kilogramos por centímetro cuadrado
psi:	Libras fuerza por pulgada cuadrado
Mpa:	Megapascales
ml:	Mililitros
mm:	Milímetros
M.F.:	Módulo de fineza



NTP:	Norma técnica peruana
PR 10:	Per Rapid 10
PH:	Potencial de hidrógeno
in:	Pulgadas
a/c:	Relación agua cemento
SR-1:	Sikarapid-1
C ₂ S:	Silicato bicálcico
C ₃ S:	Silicato tricálcico
SPSS:	Software de procesamiento estadístico
TMN:	Tamaño máximo nominal
Gu:	Uso general



RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físico-mecánicas y costo de producción en concretos de $f'c=210$ kg/cm². La investigación es de tipo básica, enfoque cuantitativo, nivel explicativo y diseño cuasiexperimental. Se elaboraron 108 probetas cilíndricas de 6"x12" para el concreto patrón y con aditivos acelerantes de resistencia SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en proporciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%. Los resultados para la temperatura del concreto mostraron valores máximos de 14.80 °C con Sikarapid-1 y 17.97 °C con Per Rapid 10 para 4.5% de aditivo. El asentamiento se redujo al aumentar la dosis de SikaRapid-1 e incrementó al aumentar la dosis de Per Rapid 10. El peso unitario del concreto aumentó con 4.5% de SikaRapid-1 en 1.40% y disminuyó con 4.5% de Per Rapid 10 en 0.98% respecto a la muestra control. Con 4.5% de SikaRapid-1, el tiempo de fraguado inicial se redujo en 56.04% y el final en 33.33%; en cambio, con 2.5% de Per Rapid 10, la reducción fue de 64.84% y 36.36% respectivamente en comparación con la muestra control. Para la resistencia a compresión, SikaRapid-1 con 2.5% de aditivo incremento en 41.72% a los 7 días y 9.86% a los 28 días frente al concreto patrón. Con Per Rapid 10 en 1.0% de aditivo, superó al concreto patrón con un incremento de 12.97% a los 7 días y 1.99% a los 28 días; sin embargo, las dosis mayores no favorecieron en el desarrollo de resistencia. El costo de producción más eficiente en función de la resistencia obtenida se registró con dosis del 2.5% de SikaRapid-1 y un costo de S/ 654.83, a pesar de incrementar en 31.11%. Finalmente, se concluye que los aditivos acelerantes influyen en las propiedades del concreto según la dosis utilizada.

Palabras clave: Resistencia a compresión, Temperatura, Asentamiento, Peso unitario, Fraguado, Aditivos acelerantes.



ABSTRACT

The objective of this research is to determine the influence of the proportion of strength accelerating admixtures on the physical-mechanical properties and production cost of concrete with $f'c=210$ kg/cm². The research is basic, quantitative approach, explanatory level and quasi-experimental design. 108 cylindrical test specimens of 6"x12" were prepared for the standard concrete and with strength accelerating admixtures SikaRapid-1 and Per Rapid 10 in proportions of 1.0%, 2.5%, 4.0% and 4.5%. The results for the concrete temperature showed maximum values of 14.80 °C with SikaRapid-1 and 17.97 °C with Per Rapid 10 for 4.5% additive. Slump decreased with increasing dosage of SikaRapid-1 and increased with increasing dosage of Per Rapid 10. Concrete unit weight increased by 1.40% with 4.5% SikaRapid-1 and decreased by 0.98% with 4.5% Per Rapid 10 compared to the control sample. With 4.5% SikaRapid-1, initial setting time was reduced by 56.04% and final setting time by 33.33%; however, with 2.5% Per Rapid 10, the reduction was 64.84% and 36.36% respectively compared to the control sample. For compressive strength, SikaRapid-1 with 2.5% admixture increased by 41.72% at 7 days and 9.86% at 28 days compared to the standard concrete. With Per Rapid 10 at 1.0% admixture, it outperformed the standard concrete, increasing by 12.97% at 7 days and 1.99% at 28 days; however, higher dosages did not improve strength development. The most efficient production cost based on the strength obtained was recorded with a 2.5% SikaRapid-1 dosage and a cost of S/ 654.83, despite a 31.11% increase. Finally, it is concluded that accelerating admixtures influence concrete properties depending on the dosage used.

Keywords: Compressive strength, Temperature, Slump, Unit weight, Setting, Accelerating admixtures.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El concreto se ha consolidado como el material más utilizado en el sector de la construcción, principalmente por la facilidad con la que se pueden obtener sus componentes y por la simplicidad de su proceso de elaboración (González-Aviña et al., 2022). Cada año se producen un aproximado de trece mil millones de metros cúbicos de concreto a nivel mundial, convirtiéndose en el material más indispensable para el desarrollo de infraestructuras (Ceballos, 2016). Investigadores como Castellón y De la Ossa (2013) mencionan que, en Colombia por su diversidad de climas, presentan variaciones en los procesos constructivos según la región y en zonas de bajas temperaturas se requiere el uso de aditivos acelerantes que permitan un fraguado más rápido del concreto, a fin de mantener la eficiencia constructiva. Por su parte, Neville (2010) destaca que el mercado ofrece una amplia variedad de aditivos con propiedades específicas, sin embargo, advierte que algunos efectos no siempre son documentados por los fabricantes, por lo cual es fundamental validar su comportamiento a través de ensayos previos a su uso en obra.

La presente investigación hace uso de aditivos acelerantes de resistencia de marcas SikaRapid-1 y Per Rapid 10, ambos libres de cloruros y aptos para ser utilizados en concreto armado de resistencia $f'c=210$ kg/cm². La investigación emplea una metodología de nivel explicativo y un diseño cuasiexperimental, con el objetivo principal de determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físico-mecánicas y costo de producción en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024.



Esta investigación está estructurada en siete partes. El capítulo I aborda la introducción, planteamiento del problema, formulación del problema, las hipótesis de investigación, justificación y los objetivos de investigación. El capítulo II desarrolla la revisión de la literatura, que está conformado por antecedentes de la investigación, marco teórico, marco conceptual y marco normativo. El capítulo III describe la metodología de investigación, Análisis estadístico, técnicas e instrumentos de recolección de datos, materiales utilizados en la investigación, procedimiento experimental, caracterización de los materiales, diseño de mezclas, elaboración y curado del concreto, ensayos del concreto fresco y ensayo de resistencia a compresión del concreto. El capítulo IV presenta los resultados de la investigación, contrastación de hipótesis, cumplimiento de objetivos, comparación y discusión de resultados.

Finalmente, la investigación concluye con tres secciones complementarias: las conclusiones de la investigación, las recomendaciones de la investigación y las referencias bibliográficas.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto es una mezcla compuesta principalmente por cemento, agua y agregados, siendo el material más utilizado en la industria de la construcción a nivel mundial. Sin embargo, las demandas de los proyectos modernos exigen un mejor desempeño frente a condiciones particulares como bajas temperaturas, trabajos de rápida ejecución o reparaciones urgentes (Vidaud & Vidaud, 2014).

En Colombia, Orozco et al. (2018) mencionan que la calidad del concreto está fuertemente influenciada por factores ambientales, constructivos, de materiales, maquinaria y mano de obra, destacando que la temperatura constituye el factor ambiental más crítico, con un 34.3% de incidencia en su desempeño. De manera similar en el



contexto peruano, Juchani (2020) destaca que las bajas temperaturas que predominan en la región andina, con inviernos secos y heladas intensas, generan condiciones que retrasan los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto. Esta problemática evidencia la necesidad de emplear aditivos acelerantes que permitan garantizar resistencias adecuadas a edades tempranas.

En ese contexto, los aditivos acelerantes han cobrado especial importancia debido a su capacidad para reducir los tiempos de fraguado y favorecer el desarrollo temprano de la resistencia mecánica del concreto (Sika, 2014). En esa línea, Dorn et al. (2022) señalan que, además de responder a la necesidad de procesos constructivos más rápidos, los acelerantes son fundamentales ante la creciente producción de cementos con menor contenido de Clinker y el uso de nuevas tecnologías como los aditivos, donde el control del fraguado y de la resistencia temprana resulta decisivo. No obstante, como menciona Mantallana (2019) el efecto de estos aditivos no es universal, sino que depende de varios factores, como la naturaleza del cemento, la granulometría de los agregados, la temperatura del agua de amasado, las condiciones ambientales, la relación agua/cemento, y la dosis empleada. Por ello, los fabricantes recomiendan realizar ensayos preliminares con los materiales específicos de obra, replicando en lo posible las condiciones reales de temperatura y humedad para determinar la dosificación óptima.

En el Perú, el uso de aditivos acelerantes ha ido en aumento, sobre todo en regiones de baja temperatura como las zonas altoandinas al proporcionar el calor de hidratación necesario para alcanzar el fraguado en tiempos razonables (Medina, 2001). En un estudio experimental realizado por Torres (2004) al evaluar el aditivo Plastocrete 161 FL (a base de Nitrato de Calcio), se encontró que la dosificación óptima fue del 5% del peso del cemento, un valor superior al límite sugerido por el fabricante. Así mismo, estudios recientes confirman que el efecto de los aditivos acelerantes no es uniforme ni



predecible. Villegas (2023) concluye que al evaluar el aditivo Chema 3 en concretos elaborados con cementos tipo ICo y GU, se observaron variaciones en las propiedades físicas del concreto fresco y sin evidenciar una tendencia definida en la resistencia a compresión. Incluso, en algunos casos el comportamiento obtenido no coincidió con lo indicado por la norma ASTM C494. Estos resultados ponen en evidencia que la acción de los aditivos depende de factores como el tipo de cemento y la relación agua/cemento, lo que limita la generalización de las recomendaciones de los fabricantes y refuerza la necesidad de realizar estudios específicos en cada contexto constructivo.

Asimismo, en la ciudad de Tacna, Nina y Condori (2018) mencionan que la construcción de edificaciones ha crecido notablemente, lo que ha impulsado la búsqueda de aditivos químicos que, al ser incorporados al cemento Portland tipo IP, estos ayuden a disminuir el tiempo de fraguado y generar un aumento las resistencias iniciales del concreto, optimizando así la calidad y eficiencia de los procesos constructivos. Sin embargo, muchas obras siguen sin emplearlos adecuadamente, debido al desconocimiento sobre sus efectos y a la falta de información técnica sobre su dosificación.

López y Mamani (2017) señalan que en Puno, especialmente en los meses de mayo, junio y julio las temperaturas son muy bajas; como muestra de ello, se han registrado temperaturas mínimas de -4.3°C en ese periodo. Estas condiciones climáticas afectan directamente las propiedades del concreto, especialmente su fraguado y ganancia de resistencia inicial, generando retrasos en el desencofrado y mayores costos de ejecución. Además, Núñez y Mamani (2018) indican que en Puno se pueden presentar variaciones térmicas importantes dentro de un mismo día, lo que incrementa la incertidumbre sobre el desempeño del concreto sin aditivos.



En ese sentido, se identifica una necesidad concreta de investigar la influencia de los aditivos acelerantes de resistencia en la elaboración de concretos en Puno, considerando el uso del cemento tipo HS, que actualmente predomina en el mercado local, y los agregados de la cantera Cutimbo. Además, utilizando los aditivos acelerantes de resistencia como el SikaRapid-1 y Per Rapid 10 que recomiendan sus dosificaciones entre 0.5% y 4.0%, pero sin estudios concluyentes que determinen su comportamiento específico bajo las condiciones climáticas de Puno.

Dado este contexto, la presente investigación surge como respuesta a una necesidad real en el sector de la construcción en zonas altoandinas como la ciudad de Puno, donde la presencia de bajas temperaturas es un factor que puede afectar la resistencia del concreto. El problema central radica en la ausencia de criterios técnicos claros sobre el efecto que generan diferentes proporciones de aditivos acelerantes de resistencia en concretos elaborados con cemento tipo HS, lo que representa una limitación para proyectistas, constructores y supervisores al momento de tomar decisiones relacionadas con la eficiencia del desencofrado, los plazos de ejecución y la resistencia a compresión del concreto.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cómo influye la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físico-mecánicas y costo de producción en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024?



1.2.2. Preguntas específicas

- P.E. 1: ¿Cómo influye la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físicas en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024?
- P.E. 2: ¿Cómo influye la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en la resistencia a compresión a los 3, 5, 7 y 28 días en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024?
- P.E. 3: ¿Cómo varía el costo unitario por metro cúbico en concretos de $f'c=210$ kg/cm² en Puno-2024, al aumentar la proporción de aditivos acelerantes de resistencia?

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

La proporción de aditivos acelerantes de resistencia influyen significativamente en las propiedades físico-mecánicas y costo de producción en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024.

1.3.2. Hipótesis específicas

- H.E. 1: La proporción de aditivos acelerantes de resistencia influyen significativamente en las propiedades físicas en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024.
- H.E. 2: La proporción de aditivos acelerantes de resistencia influyen significativamente en la resistencia a compresión a los 3, 5, 7 y 28 días en concretos de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024.



- H.E. 3: El costo unitario por metro cúbico en concretos de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Puno-2024, aumenta conforme se incrementa la proporción de aditivos acelerantes de resistencia.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más económicos y duraderos en la actualidad. Su uso representa una parte considerable del movimiento económico a nivel global, por lo que su consumo suele considerarse un indicador clave del desarrollo de un país (Montoya et al., 2009). Pero como menciona Devi et al. (2024), a pesar del uso múltiple que se le da, en condiciones estándar, presenta un desempeño eficiente; sin embargo, puede verse comprometido bajo condiciones extremas como las bajas temperaturas. Por otro lado, como menciona Cheung et al. (2018), los aditivos para el cemento y concreto son compuestos químicos que, aunque se agregan en cantidades pequeñas, pueden acelerar la hidratación del cemento y disminuir la cantidad de agua necesaria. Esto permite sustituir hasta un 20% del Clinker por materiales cementantes suplementarios (SCM), lo que ayuda a disminuir significativamente las emisiones de CO_2 mediante un diseño adecuado de mezclas y tecnologías modernas, este reemplazo puede duplicarse. Además, Mejía y Paz (2013) mencionan que la aceleración del fraguado del concreto representa una estrategia eficiente en regiones donde las condiciones climáticas adversas dificultan que el material desarrolle su resistencia óptima en el tiempo previsto. Esta característica permite optimizar los plazos de ejecución, facilitando la continuidad de las actividades constructivas. En zonas con bajas temperaturas, la incorporación de aditivos acelerantes permite agilizar el proceso constructivo, mejorar el rendimiento en obra al reducir los tiempos de espera favoreciendo el desarrollo temprano de la resistencia mecánica del concreto.



En el aspecto social, la reducción del tiempo de encofrado no solo optimiza el avance de las obras, sino que también genera beneficios directos en la comunidad, al permitir una entrega más rápida de infraestructuras esenciales como colegios, centros de salud y viviendas. Como menciona Zárate (2022), el concreto al ser el material más utilizado en obra, requiere del uso de encofrados que generalmente se alquilan, lo que implica un costo importante. Reducir el tiempo de permanencia del encofrado permite ahorrar dinero y acelerar la ejecución del proyecto. En este sentido, el uso de aditivos acelerantes resulta necesario, ya que incrementan la velocidad de desarrollo de las resistencias iniciales, facilitando el desencofrado temprano en elementos estructurales como columnas, vigas o losas.

Por otro lado, en la región de Puno, específicamente en la provincia de Juli, Carrillo (2025) menciona que los proyectos de viviendas utilizan con más frecuencia el cemento Boliviano Viacha IP 40 en un 85%, mientras que el 9% utilizan el cemento Rumi tipo HS, y el 6% otros tipos de cemento; así mismo, en el sitio web oficial de cemento Yura (2024), ya no se encuentra publicada la ficha técnica del cemento portland tipo IP, centrandose su fabricación exclusivamente en el tipo HS para uso general, lo que ha reforzado aún más la presencia de este tipo de cemento en la mayoría de las obras locales.

En el ámbito local y la región de Puno, investigaciones realizadas por Calloapaza (2021), Arenas (2022) y Mamani (2024), desarrollaron sus investigaciones sobre concretos con aditivos acelerantes; utilizando cementos tipo I y tipo IP juntamente con aditivos acelerantes como Chema 3, Chema 5 o SikaCem Acelerante PE. Ante esta situación, la presente investigación busca complementar un vacío en el conocimiento al evaluar el comportamiento del cemento tipo HS en combinación con los aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 dentro de los rangos de dosificación



recomendados por sus fabricantes que va desde 0.5% a 4.0% y, además, una dosificación adicional de 4.5% con el fin de analizar sus efectos más allá de los límites sugeridos.

Esta investigación aportará información valiosa y actualizada sobre la interacción entre el cemento tipo HS y los aditivos acelerantes como es el SikaRpaid-1 y Per Rapid 10; contribuyendo al desarrollo de soluciones innovadoras que permitirán optimizar el tiempo de fraguado y la resistencia temprana en concretos empleados en condiciones de la localidad de Puno.

1.4.1. Importancia del estudio

Este estudio es importante porque aborda un vacío técnico en el conocimiento sobre el comportamiento del concreto elaborado con cemento tipo HS en combinación con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10. En la localidad de Puno, donde predomina este tipo de cemento y las temperaturas afectan los procesos de construcción, disponer de datos experimentales permite optimizar los tiempos en la ejecución de obras, reducir costos y mejorar la calidad en la ejecución. Los resultados pueden impactar directamente en la toma de decisiones técnicas, tanto en proyectos públicos como privados, favoreciendo el uso de soluciones adaptadas al entorno local.

1.4.2. Relevancia del estudio

Este trabajo es relevante porque combina aspectos teóricos, técnicos y sociales, generando información que puede ser utilizada para replicar prácticas constructivas eficientes en otros lugares similares de la localidad de Puno.



1.4.2.1. Credibilidad

La credibilidad del estudio se asegura mediante el uso de normas NTP vigentes publicadas por la INACAL de la serie NTP 334 relacionada con el cemento, serie NTP 400 para los agregados y la serie de NTP 339 con una metodología experimental del concreto fresco, elaboración y resistencia a compresión del concreto. Además, recurriendo a bibliografía publicada por expertos y fuentes técnicas confiables que respaldan el marco teórico y metodológico.

1.4.2.2. Transferibilidad

Los resultados obtenidos podrán ser ejecutados a otras localidades altoandinas con condiciones similares al presente estudio. La estructura metodológica propuesta permite su replicación en distintos contextos, facilitando su aplicación en proyectos de infraestructura pública y privada.

1.4.2.3. Fidelidad

La fidelidad del estudio se garantiza mediante la ejecución sistemática de ensayos en laboratorio bajo condiciones controladas y repetibles, con registro riguroso de todos los datos obtenidos. Además, se asegura la trazabilidad de los materiales empleados mediante el diseño de mezclas por el método ACI 211 y el cumplimiento de los procedimientos establecidos en las NTP para alcanzar los objetivos planteados.

1.4.2.4. Confirmabilidad

Se establece la confirmabilidad del estudio mediante la documentación detallada de los procedimientos, resultados y análisis.



Asimismo, se conservaron los registros originales de laboratorio y se elaboraron bases de datos con los resultados obtenidos, de modo que otros investigadores puedan verificar el proceso y los cálculos realizados.

1.4.3. Consecuencias del estudio

Los resultados de esta investigación pueden ser utilizados como base para actualizar criterios técnicos en obras de concreto que emplean aditivos acelerantes, así como para la validación local del uso de aditivos acelerantes con el cemento tipo HS. Asimismo, puede motivar nuevas líneas de investigación sobre diseño de mezclas adaptadas con otros tipos de aditivos y cementos especiales. A nivel práctico, permitirá mejorar la planificación, reducir tiempos de obra y generar mayor confianza técnica en el uso de tecnologías químicas aplicadas a la construcción local.

1.4.4. Limitaciones del estudio

Entre las principales limitaciones se encuentra el número reducido de ensayos realizados, debido a restricciones logísticas, tiempo, de recursos necesarios y la falta de algunos equipos específicos para algunos ensayos como es el caso del penetrómetro de concreto para determinar el tiempo de fraguado del concreto, limitándose solamente al fraguado del cemento. Además, las pruebas se realizaron en condiciones de laboratorio, pero no abarcan todos los escenarios posibles de obra.

1.4.5. Cuestiones éticas

El estudio se desarrolló respetando los principios de integridad científica, objetividad y honestidad. Los resultados de los ensayos realizados en el



laboratorio de construcciones de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, muestran transparencia del registro de datos y sin manipulación de los resultados. Se garantizaron buenas prácticas de seguridad durante el manejo de materiales, y se evitaron impactos ambientales negativos durante la ejecución experimental. Además, respetando los derechos de autor citando todas las referencias bibliográficas utilizadas.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físico-mecánicas y costo de producción en concretos de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Puno-2024.

1.5.2. Objetivos específicos

- O.E. 1: Determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físicas en concretos de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Puno-2024.
- O.E. 2: Determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en la resistencia a compresión a los 3, 5, 7 y 28 días en concretos de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, Puno-2024.
- O.E. 3: Describir el aumento del costo unitario por metro cúbico en concretos de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en Puno-2024, según diferentes proporciones de aditivos acelerantes de resistencia.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Lemus (2021) investigó el efecto de dos tipos de aditivos acelerantes, uno de fraguado y el otro de resistencia para mezclas de concreto elaboradas con cemento portland modificado tipo I. Las dosis empleadas para el aditivo acelerante de fraguado fueron de 500, 750 y 1,000 ml por bolsa de cemento, y para el acelerante de resistencia fueron de 170, 445 y 725 ml por bolsa, clasificándolas como dosis baja, media y alta, respectivamente para ambos aditivos. El diseño de mezcla se realizó siguiendo el método de Fuller, con una resistencia a la compresión especificada de $f'c=3,000$ psi (20.6 MPa). Las probetas de concreto fueron ensayadas a los 1, 2, 3, 7, 14 y 28 días, utilizando un total de 12 muestras por dosificación. Los resultados mostraron que para el aditivo acelerante de resistencia, el uso de aditivo no tuvo ningún efecto en la inclusión de aire en las mezclas de concreto; así mismo, las dosis media y alta de aditivo aumentan en más de 30% el asentamiento; para el tiempo de fraguado inicial y final las dosis no generan efectos sensible, mientras que para la resistencia a compresión, el aumento es significativamente alto en las edades de 1 y 2 días; sin embargo para las edades de 3, 7 y 28 días el aumento de la resistencia se mantiene en menores proporciones. Para el aditivo acelerante de fragua, la dosis baja no cumple con el tiempo fraguado indicado para ser considerado como tal según la normativa; el asentamiento del concreto aumenta para la dosis alta; y para la resistencia a compresión en las edades de 1, 2 y 3 días aumentan por igual y para la edad de 7



días las dosis media y alta aún tienen efecto en un incremento mayor en la resistencia a compresión.

Solís et al. (2022) realizaron su estudio con el objetivo de evaluar el efecto de dos aditivos acelerantes, uno con cloruros y otro libre de cloruros sobre las propiedades del concreto elaborado con agregados calizos en un clima cálido subhúmedo en Yucatán México. La metodología fue experimental, usando dos relaciones a/c de 0.50 y 0.70; además tres dosificaciones de aditivo acelerante en 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del cemento. El cemento que utilizaron fue el cemento portland compuesto clase resistente 30 de resistencia rápida (CPC 30R). Realizaron ensayos de asentamiento, contenido de aire, peso volumétrico, tiempos de fraguado y resistencia a compresión a los 3, 7 y 28 días. La muestra total fue de 252 especímenes cilíndricos, divididos según aditivo, dosis, relación a/c y tipo de curado (natural y húmedo). Los resultados mostraron que ambos aditivos redujeron los tiempos de fraguado, siendo más efectivo el aditivo con cloruros. La resistencia a compresión aumentó con la dosis de aditivo, especialmente en mezclas con relación a/c de 0.50 y curado húmedo. Sin embargo, los valores alcanzados no siempre coincidieron con lo prometido por los fabricantes. Concluyeron que los aditivos acelerantes mejoran el desempeño del concreto en clima cálido, tanto en tiempo de fraguado como en resistencia temprana, aunque su efectividad depende de la relación a/c, tipo de curado y naturaleza del agregado.

Mora-Cuenca et al. (2023) evaluaron las propiedades mecánicas del concreto con $f'_c=21$ MPa mediante la aplicación de aditivos retardantes y acelerantes; la metodología aplicada fue de tipo cuantitativo y de análisis descriptivo de los ensayos realizados. La muestra fue de 54 probetas para concretos en Santo Domingo y Portoviejo para edades de ensayo de 7, 14 y 28



días. Los materiales que utilizaron fueron el cemento tipo GU, tamaño máximo nominal del agregado de 1.27 y 1.90 cm, 308 kg de cemento por metro cubico, el aditivo acelerante en cantidad fue 42.8 ml, el aditivo retardante fue 0.10 ml; el método de diseño de mezcla que utilizaron fue el ACI 211. Los resultados mostraron que los aditivos acelerantes y retardantes aumentan en el asentamiento del concreto; así mismo, el concreto sin aditivos presentó mayor resistividad eléctrica, indicando mejor durabilidad; el acelerante redujo la resistividad eléctrica y el retardante mostró mejora progresiva; por tanto, Portoviejo tuvo mejores resultados que Santo Domingo. La resistencia a compresión a los 7 días en Santo domingo para el concreto sin aditivo llegó a 15.33 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 15.63 y 16 MPa; a los 14 días el concreto sin aditivo llegó a 19.36 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 18.64 y 19.10 MPa; a los 28 días el concreto sin aditivo llegó a 21.79 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 22.01 y 22.37 MPa. Para Portoviejo a los 7 días el concreto sin aditivo llegó a 14.65 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 15.58 y 15.23 MPa; a los 14 días el concreto sin aditivo llegó a 18.75 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 18.41 y 17.97 MPa; a los 28 días el concreto sin aditivo llegó a 22.20 MPa, con aditivo acelerante y retardante a 22.32 y 22 MPa. Finalmente concluyeron que las dosificaciones para los diseños de concreto requeridos fueron los adecuados, porque generaron resistencias superiores a las de diseño.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Nina y Condori (2018) evaluaron la influencia de aditivos acelerantes de fragua y endurecimiento en la resistencia a compresión de concreto con $f'c=210$ kg/cm² para las edades de 3, 7 y 14 días con cemento portland tipo IP en la ciudad de Tacna; la investigación es de tipo explicativo y diseño experimental. La



muestra total fue de 144 briquetas de concreto de 6 in x 12 in distribuidos entre la muestra patrón y con los aditivos Chema 3, SikaRapid-1 y Chema Estruct en dosis de 1,000 ml para las dos primeros y 500 ml para el tercer aditivo por bolsa de cemento (42.5 kg), los agregados de la cantera Arunta con TMN de 25 mm para el agregado grueso. Los resultados mostraron: la resistencia promedio a compresión a 3 días fueron 144.348 kg/cm² para el concreto sin aditivo, 168.276, 152.198 y 190.732 kg/cm² para los concretos con SikaRapid-1, Chema 3 y Chema Estruct respectivamente; para los 7 días fueron de 189.664 kg/cm² para el concreto sin aditivo, 212.716, 195.866 y 207.617 kg/cm² para los concretos con SikaRapid-1, Chema 3 y Chema Estruct respectivamente y para los 14 días fueron de 225.972 kg/cm² para el concreto sin aditivo, 235.658, 218.271 y 239.512 kg/cm² para los concretos con SikaRapid-1, Chema 3 y Chema Estruct respectivamente. Finalmente concluye que los aditivos Chema Estruct y SikaRapid-1 para las edades de 3 y 7 días causaron un mayor efecto en la resistencia a compresión del concreto.

Huamani y Solon (2019) realizaron su investigación con la finalidad de determinar el porcentaje óptimo de aditivo acelerante para reducir el tiempo de fraguado en un concreto $f'c=210$ kg/cm² en clima cálido sin afectar la resistencia, en Trujillo. La investigación fue de diseño cuasi experimental con un diseño posprueba únicamente y grupos intactos. La muestra fue de 360 probetas de concreto de dimensiones 4 in x 8 in y distribuidos entre el concreto patrón, con aditivo SikaRapid-1 y Z fragua #5 en dosis de 1.0%, 1.5 %, 2.0% y 2.5% para ambos aditivos y para edades de ensayo a los 3, 7, 14 y 28 días; el agregado utilizado fue de la cantera la Soledad con TMN de 3/8" y utilizaron el cemento portland tipo GU; el diseño de mezclas fue realizado por el método ACI 211; así



mismo, realizaron mediciones del asentamiento del concreto, temperatura, peso unitario y tiempo de fraguado del concreto y también analizaron el costo por metro cúbico de concreto. Los resultados mostraron que el porcentaje óptimo para el aditivo SikaRapid-1 fue de 1.5% y para el aditivo Z fragua #5 fue de 2.5% sin afectar la resistencia del concreto; el tiempo de fraguado final para el aditivo SikaRapid-1 con el porcentaje óptimo fue de 330 minutos lo que significa una disminución en 30% respecto al tiempo de fraguado patrón que era de 474 minutos; mientras que para el aditivo Z fragua #5 fue de 293 minutos lo que significa que disminuyó en 38% respecto al tiempo de fraguado patrón; respecto al asentamiento del concreto, el aditivo SikaRapid-1 y Z fragua #5 incrementaron en 30% y 20% respectivamente con referencia al patrón; mientras que para la temperatura del concreto fresco con SikaRapid-1 se mantuvo en un rango estable disminuyendo 2°C (7.5%) respecto a la muestra patrón y con el aditivo Z Fragua #5 se mantuvo en un rango estable subiendo 0.5°C (1.9%) respecto a la muestra patrón; los pesos unitarios no tuvieron una variación considerables; con respecto a la resistencia a compresión los concreto con aditivo Z fragua #5 en porcentaje de 2.5% alcanzó un $f^{\prime}c$ de 304 kg/cm^2 a los 28 días.

Huaraca (2021) estudió la variación de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto patrón, empleando aditivos acelerantes de resistencia en diferentes porcentajes y variando la relación a/c. Realizó un diseño de mezcla con relación a/c de 0.45, 0.55 y 0.65; además con aditivo acelerante de fragua y resistencia Accelguard 100 libre de cloruros en dosificaciones de 1.2% y 2.4%; utilizando cemento portland tipo I y para el diseño de mezcla el método de agregado global. En estado fresco del concreto realizó los ensayos de asentamiento, peso unitario, porcentaje de aire, exudación y tiempo de fraguado;



mientras que en el estado endurecido realizó ensayos de resistencia a compresión y tracción siendo las muestras de concreto de 108 y 36 respectivamente de tamaño 4 in x 8 in. En estado fresco, se evidenció que los asentamientos aumentaron conforme se incrementó la relación a/c, y que el uso de aditivos generó un mayor peso unitario en comparación con el concreto sin aditivos. Asimismo, se reportaron aumentos en el contenido de aire y en la exudación, especialmente en las mezclas con mayor relación a/c. En cuanto al fraguado del concreto para la relación a/c de 0.45; el fraguado inicial se redujo en 60 minutos y el final en 51 minutos; para a/c=0.55 se redujo en 51 y 52 minutos, respectivamente; y para a/c=0.65, el fraguado inicial se redujo en una hora con 24 minutos y el final en una hora con 3 minutos. En estado endurecido, los resultados indicaron un aumento en la resistencia a compresión a los 3 y 7 días en todos los diseños con aditivo, aunque con una posterior disminución de la resistencia a los 28 días respecto al patrón. Concluyó que el uso de aditivos acelerantes ayuda el desarrollo temprano de resistencias mecánicas y la reducción del tiempo de fraguado, siendo especialmente útil en condiciones de clima frío.

Santillán (2019) realizó su investigación a causa de la necesidad poner en servicio las obras civiles en menor tiempo posible; para ello evaluó la resistencia a compresión del concreto con $f'c$ de 280 kg/cm² adicionando el aditivo acelerante de fragua Chema 3 con cemento Pacasmayo de tipo I y cemento Inka Ultra resistente tipo ICo; aplicó una investigación cuantitativa, de nivel explicativo y diseño experimental. Elaboró 240 especímenes totales, de los cuales 30 fueron especímenes de control y 30 para especímenes para cada grupo experimentación; la cantidad de aditivo Chema 3 que utilizó fue de 500 ml, 750 ml y 1,000 ml por cada bolsa de cemento (42.5 kg). Realizó los ensayos de compresión para 7, 14 y



28 días de curado. Los resultados de la resistencia compresión promedio a 7 días con el cemento Pacasmayo fue de 220.69 kg/cm² para el concreto patrón y 253.89, 276.75 y 269.03 kg/cm² para las dosis de aditivo en 500, 750 y 1000 ml respectivamente; para los 14 días fue de 257.21 kg/cm² para el concreto patrón y de 290.52, 333.57 y 316.85 kg/cm² con aditivos; para 28 días fue de 305.79 kg/cm² para el concreto patrón y 331.09, 370.39 y 356.71 kg/cm² con aditivos. Mientras que para los concretos con cemento Ultra Resistente Tipo ICo a los 7 días fue de 208.63 kg/cm² para el concreto patrón y de 241.86, 261.67 y 253.18 kg/cm² para las dosis de aditivo en 500, 750 y 1,000 ml respectivamente; para los 14 días fue de 243.36 kg/cm² para el concreto patrón y de 267.18, 310.16 y 296.90 kg/cm² con aditivos; para 28 días fue de 293.75 kg/cm² para el concreto patrón y 314.84, 348.60 y 333.10 kg/cm² con aditivos. Por tanto, concluyó que el aditivo Chema 3 para una dosificación de 750 ml por bolsa de cemento generó un incremento en la resistencia a compresión en ambos tipos de cemento.

Vargas (2021) realizó un estudio comparando las resistencias a compresión a tempranas edades para un concreto de $f'c=300$ kg/cm² empleando aditivo SikaCem Acelerante PE en Cajamarca 2018, con la finalidad de conocer la influencia del aditivo acelerante en mención. La metodología de investigación que aplicó fue de enfoque cuantitativo, nivel explicativo y un diseño experimental, con una muestra total de 360 probetas de concreto divididos entre mezcla patrón, y mezcla con aditivo SikaCem Acelerante PE con dosificaciones de 1.5%, 2.5% y 4% para las edades de rotura de 3, 5 y 7 días de curado; el cemento que utilizó fue de tipo I y utilizó el método de diseños de mezclas del módulo de fineza de la combinación de los agregados. Los resultados mostraron que las resistencias a los 3 días fueron de 167.54 kg/cm² para la mezcla patrón y de 181.83, 194.23, 221.48



kg/cm² para los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 4% de aditivo; Para la edad de 5 días fueron de 205.11 kg/cm² para la mezcla patrón y de 221.09, 235.15 y 256.56 kg/cm² para los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 4% de aditivo; Para la edad de 7 días fueron de 226.41 kg/cm² para la mezcla patrón y de 248.93, 265.48 y 285.5 kg/cm² para los porcentajes de 1.5%, 2.5% y 4%. Concluye que, para la edad de 7 días, el porcentaje de 4% de aditivo SikaCem Acelerante PE llegó al 95.17% con referencia al concreto de diseño. Respecto a los costos, menciona que incrementa a medida que se incrementa el porcentaje de aditivo, siendo mayor para el porcentaje de 4% un monto de 508.97 soles por un metro cubico de concreto.

Villanueva (2022) realizó su investigación para determinar la incidencia del uso de aditivos acelerantes y retardantes en la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto, utilizando los agregados de la cantera San Martin de Porres, en la localidad de Huacho. Para ello utilizó el aditivo acelerante AC-4200 y Retard-38 como aditivo retardante para un diseño $f'c=210$ kg/cm²; además el cemento que utilizó fue de tipo I. La metodología de investigación que empleó fue de un enfoque cuantitativo, de alcance correlacional y un diseño cuasi-experimental. La muestra seleccionada fue de 84 probetas entre el concreto patrón, con adición de aditivo acelerante y con adición de aditivo retardante. Los resultados para el asentamiento del concreto con el aditivo acelerante en 1%, 2% y 3% muestran un incremento de 3.22%, 1.93% y 4.50% respecto al concreto patrón; mientras que para el aditivo retardante en 0.2%, 0.4% y 0.6% aumentó en un 7.40%, 10.93% y 14.47% respecto al asentamiento del concreto patrón. Por otro lado, la resistencia compresión del concreto con el aditivo acelerante en proporción de 2% en relación al concreto patrón se llegó a alcanzar una resistencia mayor de $f'c=293.17$ kg/cm²; mientras que, con el aditivo retardante en proporción



de 0.6% en comparación al concreto patrón se obtiene una mejoría llegando a una resistencia máxima de $f'c = 333.94 \text{ kg/cm}^2$.

Quispe y Mosqueira (2022) realizaron un estudio de diseños de mezcla con cemento tipo HE, cemento tipo I y tipo IP y además incluyeron en las mezclas el aditivo acelerante Z fragua # 5 con la finalidad de acelerar las resistencias iniciales a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con el objetivo de optimizar tiempos en la construcción. La metodología que emplearon en su investigación fue aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental. Para realizar la experimentación, la muestra total fue de 240 probetas de 4 in x 8 in organizados en grupos experimentales denotados como: diseño de mezcla con cemento tipo HE(G1), con aditivo Z fragua # 5 y cemento tipo HE(G2) y finalmente con aditivo Z fragua #5 con cemento tipo I(G3); y los grupos de control denominados como diseño de mezcla convencional con cemento tipo I(G4) y cemento tipo IP(G5); la cantidad de aditivo que utilizó fue de 1,000 ml por bolsa de cemento. Los resultados mostraron que, a los 4 días del ensayo, los grupos G2 y G3 superaron la resistencia específica de 210 kg/cm^2 ; mientras que, el concreto con cemento HE superó a los 7 días la resistencia especificada; así mismo, evaluó el fraguado inicial y final en los cementos, donde el cemento HE con aditivo inicia el su fraguado en el minuto 151 y termina en el minuto 255 con respecto a los demás grupos. Se concluye que la mezcla elaborada con el aditivo Z fragua # 5 alcanza una mayor resistencia inicial a la compresión del concreto, logrando un $f'c$ de 210 kg/cm^2 .

Cariga (2023) realizó su investigación con la finalidad de determinar el aditivo acelerante de fragua más efectivo para un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ utilizando la cantera Jeka y para las edades de 7, 14 y 28 días de ensayo. La



metodología de investigación empleada fue de un enfoque cuantitativo, nivel explicativo y de diseño experimental. Los aditivos acelerantes empleados en la investigación fueron el SikaCem y Chema 3 en dosis de 1.5% respecto al peso del cemento. La muestra total fue de 36 probetas de concreto de 4 in x 8 in con cemento portland tipo I. Los resultados que obtuvo para la resistencia a compresión a 7 días fueron: 166 kg/cm² para el diseño normal, 203 kg/cm² para el diseño con acelerante SikaCem y 194 kg/cm² para el diseño con aditivo Chema 3; a los 14 días fueron: 190 kg/cm² para el diseño normal, 225 kg/cm² para el diseño con acelerante SikaCem y 218 kg/cm² para el diseño con aditivo Chema 3; a los 28 días fueron: 228 kg/cm² para el diseño normal, 237 kg/cm² para el diseño con acelerante SikaCem y 234 kg/cm² para el diseño con aditivo Chema 3. Concluye que para la edad de 28 días los concretos con aditivo acelerante SikaCem difieren y Chema 3 difieren en 4.04% y 2.58% respecto al concreto de diseño normal.

Valle (2018) estudió la influencia de tres aditivos acelerantes Z fragua #5, Chema 3 y SikaCem Acelerante PE en el desarrollo de la resistencia a compresión de concretos $f'c=175$ y 210 kg/cm²; el diseño de investigación fue experimental, utilizó el cemento portland tipo extraforte ICo, agregados con tamaño máximo nominal 1 1/2". La muestra fue de 180 probetas de 6 in x 12 in para las edades de ensayo de 7, 14 y 28 días; las dosis aplicadas fueron en 2.50%, 3.0% y 3.5% respecto al peso del cemento. Los resultados fueron los siguientes para el concreto $f'c=210$ kg/cm²: la resistencia a compresión del concreto sin aditivo a los 7 días alcanzó una resistencia promedio de 150.32 kg/cm², con aditivo Z fragua #5 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 207.59, 216.45 y 221.62 kg/cm² respectivamente; para el aditivo Chema 3 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 206.58, 215.45 y 220.14 kg/cm² respectivamente; para el aditivo



SikaCem Acelerante PE para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 209.02, 218.15 y 222.30 kg/cm² respectivamente. Para los 14 días, el concreto sin aditivo alcanzó una resistencia de 186.42 kg/cm², con aditivo Z fragua #5 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 219.89, 229.78 y 236.81 kg/cm² respectivamente; para el aditivo Chema 3 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 218.16, 228.10 y 235.88 kg/cm² respectivamente; para el aditivo SikaCem Acelerante PE para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 221.91, 231.87 y 238.14 kg/cm² respectivamente. Para los 28 días el concreto sin aditivo alcanzó una resistencia de 211.50 kg/cm², con aditivo Z fragua #5 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 224.89, 232.93 y 238.81 kg/cm² respectivamente; para el aditivo Chema 3 para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 223.49, 231.54 y 235.88 kg/cm² respectivamente; para el aditivo SikaCem Acelerante PE para las dosis de 2.5%, 3.0% y 3.5% alcanzaron a 225.17, 233.62 y 239.42 kg/cm² respectivamente. Concluye que los aditivos acelerantes influyen en los primeros 7 días, alcanzando valores casi cercanos del diseño.

Marín (2024) evaluó la variación en la resistencia a la compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm², empleando 1% de Sikament-290 N y 3% de SikaCem Acelerante PE a los 7, 14 y 28 días. La investigación fue de tipo aplicada, nivel correlacional, método experimental; la muestra fue de 54 probetas cilíndricas de 6 in x 12 in conformado por la mezcla patrón, mezcla con aditivo SikaCem Acelerante PE y aditivo retardante Sikament-290 N; para las pruebas de resistencia a compresión a las edades de 7, 14 y 28 días. El agregado utilizado fue del río Chonta, de la cantera Aguilar con TMN de ½"; utilizó cemento portland tipo I y método ACI 211 para el diseño de mezclas; realizó los ensayos del asentamiento del concreto y peso unitario del concreto fresco. Los resultados que



obtuvo para el asentamiento del concreto fueron de 3.25 in para la mezcla patrón y de 3.5 in para la mezcla con aditivo SikaCem Acelerante PE, 9 in para la mezcla con aditivo retardante Sikament-290 N; para el peso unitario del concreto fresco aumentaron para ambos aditivos. La resistencia a compresión a los 28 días aumenta en 7.561% y 4.911% para el aditivo SikaCem Acelerante PE y aditivo retardante Sikament-290 N en comparación con la mezcla patrón. Concluye que para las primeras dos semanas el aditivo SikaCem Acelerante PE tienen mayor efecto en la resistencia a compresión del concreto, mientras que para el aditivo retardante Sikament-290 N aumenta de manera más sostenido a largo plazo, llegando a su resistencia máxima a los 28 días.

2.1.3. Antecedentes locales

Mamani (2024) estudió la influencia de los aditivos acelerantes a base de cloruro de calcio y sales alcalinas para fraguado en la resistencia a compresión en concretos $f^c=210$ kg/cm² preparados con cementos portland tipo I y IP en Puno; la metodología de investigación empleado fue de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño cuasiexperimental. La muestra total fue de 162 probetas de concreto de 6 in x12 in para realizar los ensayos en edades de 7, 14 y 28 días; utilizó dos tipos de aditivos acelerantes a base de cloruro de calcio y sales alcalinas en porcentajes de 1%, 2%, 3% y 4% y con agregados de la cantera de Viluyo; el diseño de mezclas fue el método ACI 211. Los resultados mostraron que para el concreto con cemento portland tipo IP y aditivo acelerante de fragua a base de cloruros de calcio en 1% es la más favorable; mientras que, con el aditivo acelerante de fragua a base de sales alcalinas, las resistencias máximas para las edades de 7, 14 y 28 días fueron con los porcentajes de 2%, 1% y 1% respectivamente; sin embargo, no sobrepasaron la resistencia del concreto sin



aditivos. Con respecto a los concreto con cemento portland tipo I, ambos aditivos acelerantes de fragua mejoran la resistencia a compresión del concreto; siendo el aditivo de cloruro de calcio que presenta mejor desempeño. Para analizar los costos del concreto por metro cúbico, el más favorable es el concreto con el aditivo acelerante de fragua a base de cloruro de calcio en 1% que alcanza la resistencia de diseño a los 7 días; además incrementando en 5.77% en el costo respecto al concreto patrón.

Arenas (2022) analizó la influencia de los aditivos acelerantes de fragua y resistencia SikaCem Acelerante PE y Chema 3 sobre las propiedades mecánicas de compresión y tracción del concreto convencional $f'_c=210$ kg/cm²; La investigación fue de tipo aplicada y diseño experimental; realizando las pruebas de resistencias a la compresión y tracción para las edades de 7 y 28 días siguiendo las indicaciones de las normas NTP 339.034 y la norma internacional ASTM C496; con un total de muestras de 108 entre mezcla patrón y con adición de SikaCem Acelerante PE en dosis de 1%, 2%, 3% y 4% respecto al peso del cemento. El agregado utilizado para preparar el concreto fue del río de Azángaro, utilizando cemento Frontera tipo IP. Los resultados mostraron que, para 7 días de curado, la mezcla patrón alcanzó una resistencia a compresión de 176.44 kg/cm² y con aditivo SikaCem Acelerante PE incrementaron en 14.67%, 19.35%, 27.04% y 16.85% para las dosis de 1%, 2%, 3% y 4% de aditivo con referencia a la mezcla patrón; así mismo, con aditivo acelerante Chema 3 incrementaron en 2.91%, 26.54%, 32.50% y 34.92% para las dosis de 1%, 2%, 3% y 4% de aditivo con referencia a la mezcla patrón. Para 28 días de curado, la mezcla patrón alcanzó la resistencia a compresión de 218.41 kg/cm² y con aditivo SikaCem Acelerante PE incrementaron en 9.09%, 13.20%, 17.84% y 8.90% para las dosis de 1%, 2%, 3%



y 4% de aditivo con referencia a la mezcla patrón; así mismo, con aditivo acelerante Chema 3 incrementaron en 5.09%, 11.30%, 5.85% y 18.10 % para las dosis de 1%, 2%, 3% y 4% de aditivo con referencia a la mezcla patrón. En sus conclusiones hace referencia que el aditivo SikaCem Acelerante PE en 3% tiene un mayor incremento; para el aditivo chema 3 tiene un mayor incremento en 4% de aditivo.

Calloapaza (2021) realizó su investigación con la finalidad de conocer el comportamiento del concreto al aplicar el aditivo acelerante Chema 3 y SikaCem Acelerante PE para un $f'c=210$ kg/cm²; utilizó el cemento portland Rumi tipo IP y agregados de la cantera de Isla en Juliaca; la investigación fue de tipo básica, de diseño experimental y enfoque cuantitativo. La muestra comprende un total de 36 probetas de concreto para la mezcla patrón y con adición de los aditivos acelerantes en dosis de 2% para las edades de 7, 14, 21 y 28 días; el método de diseño de mezcla es el ACI 211. Los resultados mostraron que para los 7 días, las resistencias a compresión llegaron a 131.2 kg/cm² para el concreto patrón, 188.6 kg/cm² con el aditivo Chema 3 y 192.5 kg/cm² con el aditivo SikaCem Acelerante PE; para los 14 días las resistencias a compresión fue 178.6 kg/cm² para el concreto patrón, 216.6 kg/cm² con el aditivo Chema 3 y 221.7 kg/cm² con el aditivo SikaCem Acelerante PE; para los 21 días las resistencias a compresión fueron de 185.7 kg/cm² para el concreto patrón, 215.8 kg/cm² con el aditivo Chema 3 y 225.1 kg/cm² con el aditivo SikaCem Acelerante PE; para los 28 días las resistencias a compresión fueron de 221.2 kg/cm² para el concreto patrón, 242.5 kg/cm² con el aditivo Chema 3 y 240.0 kg/cm² con el aditivo SikaCem Acelerante PE; con respecto a los costos, el concreto con aditivo SikaCem Acelerante PE tiene mayor costo siendo 608.42 soles.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Aditivos para concreto

Un aditivo es aquel material diferente al agua, a los agregados, al cemento hidráulico y otros materiales que se usan como refuerzo; estos aditivos son utilizados como ingrediente adicional en la preparación de mezclas de concreto con la finalidad de modificar su estado fresco, mezclado, fraguado o en sus propiedades de endurecimiento y se adiciona inmediatamente antes o durante su dosificación (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2002).

2.2.1.1. Tipos de aditivo

La norma NTP 334.088 (2021) clasifica ocho tipos de aditivos que se pueden utilizar en las mezclas de concreto con cemento hidráulico y se mencionan a continuación:

- **Tipo A:** Son los aditivos reductores de agua, que aumentan el asentamiento del concreto sin necesidad de aumentar el agua.
- **Tipo B:** Son los aditivos retardadores, ayudan a disminuir la velocidad de reacción entre el agua y cemento.
- **Tipo C:** Son los aditivos acelerantes, aumentan la velocidad de reacción entre los materiales cementicios, reducen el tiempo de fraguado y ayudan a ganar mayores resistencias iniciales.
- **Tipo D:** Son los aditivos reductores de agua y retardadores, reducen la cantidad de agua y aumentan el tiempo de fraguado.



- **Tipo E:** Son los aditivos reductores de agua y aceleradores que ayudan a acelerar el fraguado y desarrollo de la resistencia temprana.
- **Tipo F:** Son los aditivos reductores de agua de alto rango, ayudan a reducir de 12% o más la cantidad de agua.
- **Tipo G:** Son los aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores, ayudan a reducir de 12% o más la cantidad de agua y aumenta el tiempo de fraguado del concreto.
- **Tipo S:** Son los aditivos de desempeño específico; están diseñadas para cumplir funciones particulares en el concreto.

2.2.1.2. Aditivos acelerantes

Un aditivo acelerante es aquel material que se añade a una mezcla de concreto con la finalidad de reducir el tiempo de fraguado del concreto y acelerar el desarrollo de las resistencias iniciales (Sánchez de Guzmán, 2001). El desarrollo de las resistencias tempranas se ven reflejado entre las edades de 1 y 7 días y los efectos que estos aditivos pueden causar en las propiedades del concreto dependen fundamentalmente del tipo de agente y la dosis utilizada (Mantallana, 2019).

Los aditivos acelerantes ampliamente utilizados están hechos a base de cloruro de calcio (CaCl_2) y estas son utilizadas especialmente para concretos sin refuerzo y además deben cumplir los requisitos de la ASTM D98. De los estudios realizados sobre su influencia en las propiedades del concreto; además de favorecer un desarrollo más rápido de la resistencia, su uso incrementa la contracción por secado, el riesgo de corrosión en la

armadura, la posibilidad de decoloración y oscurecimiento del concreto, así como el potencial de descascaramiento (Kosmatka et al., 2004).

Según Pasquel (1998), los aditivos acelerantes provocan una menor resistencia a los sulfatos y son más sensibles a cambios volumétricos por temperatura. Convencionalmente tienen en su composición cloruros, carbonatos, silicatos, fluorsilicatos e hidróxidos y algunos compuestos orgánicos como trietanolamina siendo la proporción normal para su uso del 1% al 2% respecto al peso del cemento.

En climas fríos entre 2 °C y 5 °C, los aditivos acelerantes ayudan a elevar el calor de hidratación evitando que se prolongue los tiempos de fraguado, pues el proceso de hidratación del cemento puede ser afectado por las bajas temperaturas (Mantallana, 2019).

2.2.1.3. Clasificación de los aditivos acelerantes

a) Según su composición química

- **Acelerantes con cloruros:** Son los más eficientes en la reducción del tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencias tempranas. Sin embargo, su uso está restringido en estructuras reforzadas y marinas debido al riesgo de corrosión del acero (Sika, 2014).
- **Acelerantes sin cloruros:** Diseñados para evitar la corrosión del refuerzo, aunque su eficiencia es menor en comparación con los que contienen cloruros. Se utilizan en obras de gran envergadura y en ambientes donde la durabilidad del concreto es prioritaria (Sika, 2014).

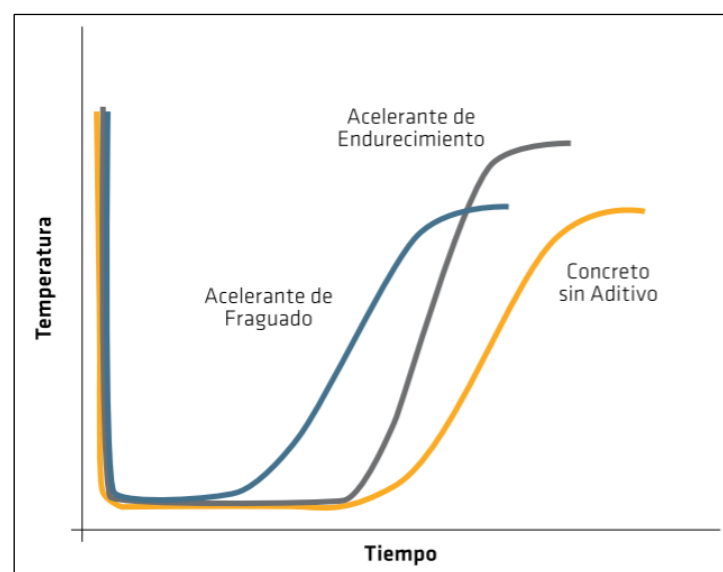
b) Según su efecto en el concreto

- **Acelerantes de fraguado:** Actúan en estado fresco, reduciendo el tiempo necesario para que el concreto pase de una fase plástica a una rígida. Son útiles para climas fríos y concretos que requieren un desencofrado rápido (Sika, 2014).
- **Acelerantes de endurecimiento:** Incrementan la velocidad de desarrollo de resistencias en las primeras edades o tempranas edades, sin necesariamente afectar el fraguado. Se utilizan en estructuras que deben entrar en servicio rápidamente o en condiciones climáticas adversas (Sika, 2014).

La Figura 1 muestra la gráfica del calor de hidratación producido en un concreto sin aditivo y con aditivos acelerante de fraguado y acelerantes de endurecimiento o resistencia.

Figura 1

Generación de calor - hidratación para concretos con y sin acelerante



Nota: Extraído de CONCRETO aditivos para concreto (p.15), Sika (2014).

2.2.1.4. Ventajas de los aditivos acelerantes

Algunas ventajas que proveen los aditivos acelerantes según Pasquel (1998) son las siguientes:

- Desencofrado más rápido y adelantar la puesta en servicio de algunas estructuras.
- Reducción en los tiempos de espera en trabajos que necesitan un acabado superficial y reducción en el curado del concreto.
- Reducir esfuerzos sobre los encofrados.
- Contrarrestar los efectos de bajas temperaturas en climas fríos desarrollando más rápido el calor de hidratación, aumentando la temperatura del concreto y en consecuencia su resistencia.

2.2.1.5. Requisitos de NTP 334.088 para aditivos acelerantes

La NTP 334.088 establece algunos requisitos que los aditivos acelerantes tipo C deben cumplir para ser considerados como tal, tanto para el fraguado y para la resistencia a compresión en el concreto como se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1

Tiempo de fraguado del concreto según NTP 334.088

Descripción	Tipo C acelerador	Tipo E reductor de agua y acelerador
Fraguado inicial	Por lo menos 1 hora antes, no más de 3.30 horas antes.	Por lo menos 1 hora antes, no más de 3.30 horas antes.
Fraguado final	Por lo menos 1 hora antes.	Por lo menos 1 hora antes.

Nota: Adaptado de cementos. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones, NTP 334.088 (2021).

Tabla 2

Resistencia a la compresión mínima, (%) respecto al control

Descripción	Tipo C acelerador	Tipo E reductor de agua y acelerador
1 día	---	---
3 días	125	125
7 días	100	100
28 días	100	100
90 días	n/a	n/a
6 meses	90	100
1 año	90	100

Nota: Adaptado de CEMENTOS. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones, NTP 334.088 (2021).

2.2.1.6. Adición de aditivo al concreto

La norma NTP 334.088 (2021), menciona que, a excepción del aditivo tipo S, los aditivos de clasificación normal se adicionarán de la manera y en las cantidades recomendadas por el fabricante en las mezclas de concreto para cumplir los requerimientos de reducción de agua, tiempo de fraguado o ambas.

Según Torres (2004), en un estudio que realizó sobre el aditivo Plastocrete 161 FL (a base de Nitrato de Calcio), en donde evalúa los porcentajes de 3%, 4% y 5% respecto al peso de cemento; en donde según sus resultados, el porcentaje óptimo de aditivo respecto al peso del cemento para los diseños de mezcla estudiados fue del 5%, un valor superior al rango recomendado por los fabricantes que eran de 0.5% a 4% evidenciando la necesidad de realizar pruebas experimentales para determinar la dosificación adecuada en función de los requerimientos específicos del concreto.



2.2.2. Propiedades físicas del concreto fresco

2.2.2.1. Temperatura del concreto

Como menciona Sánchez de Guzmán (2001), la temperatura del concreto fresco influye en sus propiedades en su estado plástico, impactando principalmente el asentamiento y el contenido de aire. Cuando se presentan temperaturas elevadas, se necesita emplear más agua de mezclado y aditivos inclusores de aire para alcanzar el contenido de aire deseado.

La temperatura del concreto es influenciada por la temperatura y calor específico de los materiales que lo constituyen cuando se mezclan todas; además, los agregados al tener mayor presencia en las mezclas de concreto pueden tener un efecto importante sobre la temperatura del concreto. En climas fríos el calentamiento del agregado puede ser necesario para mantener la temperatura deseada en el concreto para cumplir las recomendaciones de las normas y así mismo evitando el uso de agregados congelados (Rivva, 2000).

La norma NTP 339.114 (2022) establece la temperatura mínima del concreto en clima frío el cual debe cumplir lo mencionado en la Tabla 3 y además menciona que cuando se utiliza agregados calentados, agua caliente o juntas, esta deberá ser como máximo de 32 °C durante su producción o transporte del concreto. Así mismo, para climas cálidos la máxima temperatura del concreto en estado fresco no debe pasar los 35 °C durante su producción o traslado.

Tabla 3

Temperatura mínima del concreto según la norma NTP 339.114

Temperatura mínima del concreto al ser colocado	
Tamaño de la sección mm	Temperatura mínima °C
< 300	13
300 - 900	10
900 - 1800	7
> 1800	5

Nota: Extraído de concreto. Concreto premezclado. Requisitos, NTP 339.114 (2022).

2.2.2.2. Asentamiento del concreto

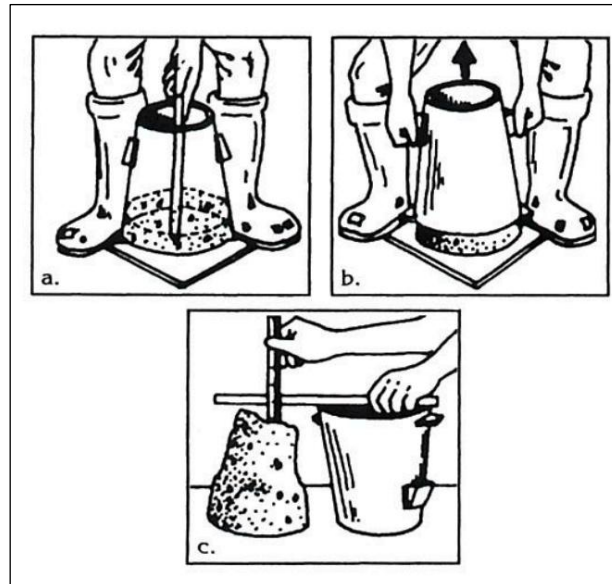
La trabajabilidad es una propiedad del concreto en su estado fresco y se define como la capacidad del concreto que le permite ser colocado y compactado correctamente sin que se presente segregación y está ligada al grado de compatibilidad, cohesividad, plasticidad y consistencia. Las propiedades de cohesión y adhesión son las que determinan el grado de trabajabilidad y por lo general son evaluadas por inspección visual y manipulación del concreto con herramientas para dar acabados; esto debido a que no hay un ensayo como tal que mida directamente la trabajabilidad del concreto; sin embargo, existen ensayos con las cuales se pueden correlacionar las propiedades del concreto en estado plástico como es el caso del ensayo de asentamiento (ASOCRETO, 2003).

El asentamiento es una medida de la trabajabilidad del concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla, pues indica que tan seca o fluida está cuando se encuentra en estado plástico (ASOCRETO, 2003). El ensayo de asentamiento es ampliamente utilizado por su simplicidad y para medir su fluidez en las mezclas de concreto fresco cuyo tamaño

máximo del agregado puede ser hasta 50.8 mm o de 2" (Sánchez de Guzmán, 2001).

Figura 2

Ensayo de asentamiento.



Nota: a. Apisonado; b. Extracción del cono de Abrams; c. Medición del asentamiento. Extraído de Tecnología del concreto y del mortero (p.114), Sánchez de Guzmán (2001), Bhandar Editores Ltda.

Según la NTP 339.035 (2022) que establece el método del ensayo del asentamiento como se observa en la Figura 2 y menciona que solamente es aplicable a concretos plásticos que contienen agregados gruesos de hasta 37.5 mm de tamaño y para aquellos con mayor tamaño del recomendado, se deberá tamizar por el tamiz 37.5 mm. Los requisitos y procedimientos se detallan en la presente normativa.

2.2.2.3. Peso unitario del concreto

Según Neville (2010) menciona que, para determinar la densidad del concreto fresco compactado, es común realizar mediciones que permitan evaluar su trabajabilidad o contenido de aire. Un método sencillo



y ampliamente utilizado es pesar una muestra de concreto fresco dentro de un recipiente con volumen conocido, lo que permite calcular su densidad. A partir de la densidad obtenida, es posible determinar el volumen de concreto producido en cada lote, lo que se conoce como rendimiento.

Kosmatka et al. (2004) menciona que la densidad del concreto está influenciada por factores como la proporción y densidad del agregado, la cantidad de aire presente, ya sea atrapado de manera natural o incorporado intencionalmente, y las cantidades de agua y cemento utilizadas en la mezcla. Además, el tamaño máximo del agregado juega un papel importante, ya que afecta directamente la cantidad de agua y cemento requerida. A medida que se reduce la cantidad de pasta y se incrementa la proporción de agregado, la densidad del concreto tiende a aumentar.

Mantallana (2019) explica que la densidad del concreto varía según su estado, ya sea fresco o endurecido. En su estado fresco, la densidad es mayor, ya que aún contiene la totalidad del agua de mezcla. Pero, a medida que el concreto se endurece, una parte de esta agua se evapora, reduciendo su densidad. La diferencia entre ambos estados suele ser aproximadamente del 7%.

La norma NTP 339.046 (2019) establece el procedimiento y las consideraciones a tomar para determinar el peso unitario del concreto o densidad, así como también determinar el rendimiento del concreto fresco.

2.2.3. Tiempo de fraguado

Se denomina tiempo de fraguado al periodo que comienza desde que el agua se mezcla con el cemento, obteniéndose la pasta que mantiene su estado



plástico por un período breve, hasta que comience a endurecerse. Este proceso se clasifica en dos fases: fraguado inicial y fraguado final, según la resistencia que opone a la penetración de una varilla. Antes del fraguado inicial, aún es posible modificar y mezclar nuevamente el concreto sin afectar negativamente. La vibración aplicada en esta etapa puede ser beneficiosa; sin embargo, conforme avanza la hidratación entre el cemento y el agua, la mezcla pierde plasticidad. Al llegar al fraguado final, el concreto adquiere rigidez y, en lugar de fluir, se fractura al incrementarse el esfuerzo aplicado (Mather & Ozyildirim, 2004).

Kosmatka et al. (2004) destacan la importancia de conocer la rapidez con la que reaccionan el cemento y el agua, ya que influye directamente en el tiempo de fraguado y el proceso de endurecimiento del concreto. Señalan que el fraguado inicial debe ser lo suficientemente lento para permitir su transporte y colocación, pero que, una vez vaciado y nivelado, un endurecimiento acelerado es preferible. Además, explican que la adición de yeso durante la molienda del Clinker regula este fraguado inicial en el cemento Portland. Otros factores que afectan la velocidad de hidratación incluyen la finura del cemento, el uso de aditivos, cantidad de agua incorporada y la temperatura de los materiales en la mezcla.

Mantallana (2019) explica que el fraguado se caracteriza por que va acompañado del calor de hidratación y cuando comienza el fraguado inicial este aumenta rápidamente; mientras que en el fraguado final, el calor de hidratación llega al valor máximo. Así mismo, la temperatura ambiente influye en el fraguado; a temperaturas más altas disminuye el tiempo de fraguado y viceversa, de modo que a menor temperatura mayor es el tiempo de fraguado. Cuando la temperatura es cercana a los 0 °C puede que el cemento no reaccione y, por tanto, no llegue a fraguar.



Así mismo, Mantallana (2019) menciona la importancia de conocer los tiempos de fraguado en las pastas por que permiten analizar si su hidratación se está desarrollando de manera normal, como indicador importante de la calidad del cemento y además de manera indirecta dan la idea acerca del tiempo disponible para el mezclado, transporte, colocación, vibrado y terminado del concreto.

2.2.4. Propiedades mecánicas del concreto

Según ASOCRETO (2010) las propiedades mecánicas del concreto están gobernadas por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y la interacción pasta-agregado. La resistencia del concreto es una propiedad para resistir esfuerzos que pueden ser a compresión, tracción, flexión o esfuerzos de corte; sin embargo, el concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión, pero muy baja a esfuerzos de tracción, motivo por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad más importancia.

2.2.4.1. Resistencia a la compresión

Gutiérrez de López (2003) menciona que la resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante del concreto; para ello, se elaboran testigos cilíndricos de las mezclas de concreto a evaluar, siendo por lo general de 30 cm de altura por 15 cm de diámetro (12" y 6") siguiendo el procedimiento indicado por la normativa. Las pruebas de compresión simple se efectúan generalmente con 28 días de edad, pero también se pueden efectuar a las edades de 3, 7 o 14 y en otros casos a edades tardías como 90 y 120 días.

Según expertos como Mantallana (2019), el concreto puede desarrollar una resistencia aproximada como se observa en la Tabla 4. Así

mismo, la norma NTP 339.034 (2021) establece el método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión simple en muestras cilíndricas y los resultados son utilizados como una referencia para el control de calidad del concreto, proporciones, mezclado y colocación. La edad y tolerancias permisibles se deben realizar tal como se indica en la Tabla 5.

Tabla 4

Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto según la edad

Edad (días)	% Resistencia respecto a la de 28 días
1	10
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125

Nota: Extraído de El concreto fundamentos y nuevas tecnologías, Mantallana (2019).

Tabla 5

Edad de ensayo y tolerancias permisibles

Edad	Tolerancia
24 h	± 0.5 h
3 d	± 2 h
7 d	± 6 h
28 d	± 20 h
90 d	± 48 h

Nota: Extraído de concreto. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo, NTP 339.034 (2021).

2.2.4.2. Factores que inciden la resistencia

ASOCRETO (2010) describe que los factores que inciden en la resistencia del concreto son varios; dentro de ellos el más importante es la relación agua/cemento. Sin embargo, intervienen otros factores como el tipo y la calidad del cemento, características de los agregados, el tipo y

cantidad de aditivos, el fraguado y la edad del concreto. La Tabla 6 muestra los factores que afectan la resistencia del concreto.

Tabla 6

Factores que inciden la resistencia del concreto

Factores que inciden la resistencia	Descripción
Relación agua-cemento	La relación (a/c) influye en todas las propiedades del concreto, ya que determina la cantidad de agua en masa respecto al cemento en la mezcla. Una mayor cantidad de agua genera una pasta más porosa, reduciendo la resistencia del concreto.
Contenido y tipo de cemento	Un mayor contenido de cemento mejora la resistencia, pero sólo hasta cierto límite, ya que un exceso no se hidrata completamente y actúa como relleno.
Características de los agregados	La textura y forma del agregado es importante, para agregados con textura rugosa y forma angular el concreto tiene mejor resistencia que un agregado liso y redondeado ya que existe mejor adherencia con la pasta. Además, la granulometría, resistencia y el tamaño máximo del agregado también influyen.
Tipo y dosificación de aditivos	Los acelerantes tipo E aumentan la resistencia inicial, pero pueden reducirla a largo plazo. Los plastificantes y superplastificantes tipo B y F mejoran la resistencia al reducir el contenido de agua.
Fraguado del concreto	Las condiciones ambientales de tiempo y temperatura en el proceso de fraguado influyen en la resistencia del concreto. En zonas de clima frío, la hidratación del cemento ocurre más lentamente, lo que retrasa el desarrollo de la resistencia; mientras en clima cálido este proceso se acelera, aumentando la resistencia más rápido.
Curado del concreto	El curado de elementos de concreto se debe realizar por los menos 7 días a temperatura mínima de 10 °C y máximo de 32 °C o cuando la resistencia a compresión del concreto llegue al 70% de la resistencia especificada.
Edad del concreto	El concreto gana resistencia con el tiempo, alcanzando su diseño a los 28 días, aunque en concretos de alta resistencia puede medirse a los 56 o 90 días. Los concretos más resistentes son densos, menos permeables y más durables, pero presentan mayor contracción y riesgo de agrietamiento.

Nota: Adaptado de Tecnología del Concreto Tomo I Materiales, propiedades y Diseño de Mezclas, ASOCRETO (2010).



2.2.5. Costo de producción del concreto

Según Beltrán (2012) el término “costo” se define como el conjunto de gastos o desembolsos necesarios para elaborar un producto o ejecutar un trabajo, sin ninguna utilidad. En la industria de la construcción estos costos se dividen en dos grupos que son costos directos y costos indirectos.

2.2.5.1. Costos directos

Picasso (2013) menciona que el costo directo es aquel costo que está asociado directamente con la obra; el cual comprende a los materiales, mano de obra, maquinarias, herramientas, equipos y servicios, relacionados directamente con cada actividad del proyecto.

a) Costo de materiales

Para Ramos (2015) comprende el análisis del costo de los materiales ya sea de cemento, arena, piedra chancada en concreto y entre otros que están expresadas en unidades como bolsa de cemento, metro cúbico de arena o piedra chancada, pie cuadrado de madera, kilogramo o varillas de fierros y otros.

b) Costo de mano de obra

Para Beltrán (2012) el costo de la mano de obra en la construcción varía según el costo de vida, los avances tecnológicos, la magnitud y los riesgos del proyecto, así como las condiciones climáticas y las costumbres locales. Factores como el sistema de pago y las relaciones laborales también influyen. Por ello, realizar un estudio salarial preciso es esencial, ya que cualquier error en esta etapa afecta directamente todos los análisis

del presupuesto y, en consecuencia, la viabilidad económica del proyecto.

La Tabla 7 muestra el costo hora hombre para el periodo del 2024-2025 publicado por la revista costos del mes de noviembre del 2024.

Tabla 7

Costo de hora hombre en obras de edificación (periodo 2024-2025)

Ítem	Descripción	Categoría		
		Operario	Oficial	Peón
1	Remuneración básica vital (vigente del 01.06.2024 al 31.05.2025)	86.80	68.10	61.30
2	Bonificación unificada de construcción BUC (vigente del 01.06.2024 al 31.05.2025)	27.78	20.43	18.39
3	Leyes y beneficios sociales sobre la RB (115.08%)	99.89	78.37	70.54
4	Leyes y beneficios sociales sobre el BUC (12.00%)	3.33	2.45	2.21
5	Fondo de capacitación (Capeco-FTCCP)	0.20	0.20	0.20
6	Bonificación por movilidad	8.60	8.60	8.60
7	Overol (2 Und. anuales)	0.43	0.43	0.43
Costo día hombre (DH)		227.03	178.58	161.67
Costo hora hombre (HH)		28.38	22.32	20.21

Nota: Extraído de Suplemento técnico noviembre 2024, Costos (2024).

c) Costo de equipos y herramientas

Ramos (2015) menciona que, en el ámbito de la construcción, la variedad de maquinarias y equipos permite definir de manera general, el costo de operación de una maquinaria como la inversión necesaria para adquirirla, ponerla en funcionamiento, ejecutar las tareas previstas y garantizar su mantenimiento. El costo de operación puede ser para un año, un mes, un día o una hora; siendo el más común el costo diario de operación y el costo horario de operación.



Así mismo Ramos (2015) señala que, para determinar el costo de herramientas en una partida, se multiplica al costo de mano de obra de la partida por un coeficiente que varía de 1% a 5% (0.01 a 0.05).

2.2.5.2. Costos indirectos

Según Beltrán (2012) los costos indirectos comprenden a aquellos gastos que son necesarios para llevar a cabo un proceso constructivo que genere un producto, en donde se excluyen la mano de obra, materiales, maquinarias y herramientas. Estos costos incluyen los gastos de dirección técnica, administración, organización, vigilancia, supervisión, transporte, acarreos y beneficios sociales del personal técnico, directivo y administrativo.

2.2.5.3. Análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitario (APU) es un método utilizado para calcular los costos para la ejecución de una partida, considerando aspectos como los materiales, la mano de obra, la maquinaria, el rendimiento y otros factores relacionados (Cuesta & Patiño, 2022).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. El concreto

El concreto es una mezcla conformada por agregados y pasta. La pasta está conformada por cemento portland y agua, que sirve para cohesionar los agregados, que por lo general están conformados por arena y piedra triturada o piedra chancada. Esta mezcla adquiere una consistencia sólida y resistente similar al de



una roca debido al endurecimiento de la pasta que resulta de la reacción química entre el agua y el cemento (Kosmatka et al., 2004).

2.3.2. Cemento portland

El cemento es un material aglomerante con propiedades de adherencia y cohesión las cuales ayudan a unir a los agregados entre sí para formar una masa sólida con buena resistencia y durabilidad (Sánchez de Guzmán, 2001). El cemento portland es obtenido de la pulverización del Clinker producido por la cocción en hornos de alta temperatura y está conformado por cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones determinadas (Abanto, 2009).

2.3.2.1. Composición química del cemento portland

Durante la fabricación del Clinker, específicamente en la calcinación, el calcio se combina con otros compuestos de la mezcla cruda para formar los cuatro compuestos más importantes que representan el 90% de la masa del cemento portland. Durante el proceso de molido se añade yeso en proporción de 4% a 6% o fuentes alternativas de sulfato de calcio, junto con compuestos que mejoran el proceso (Kosmatka et al., 2004).

Kosmatka et al. (2004) menciona que los cuatro componentes principales del cemento portland tienen las siguientes propiedades:

a) Silicato tricálcico (C₃S)

Este compuesto al hidratarse comienza a endurecer rápidamente y es la responsable en gran parte de dar inicio al fraguado y la resistencia temprana. Por lo general un concreto con alta resistencia inicial se debe a



que el cemento que utiliza tiene el C_3S en más cantidad (Kosmatka et al., 2004).

b) Silicato bicálcico (C_2S)

Este compuesto al hidratarse endurece de manera más lenta, pero contribuye grandemente para el aumento de resistencia a edades después de una semana. Cementos con mayor cantidad de C_2S ayudan a producir concretos resistentes a ataques de sulfatos (Kosmatka et al., 2004).

c) Aluminato tricálcico (C_3A)

Durante los primeros días, este compuesto libera gran cantidad de calor de hidratación y ayuda al endurecimiento, además de contribuir un porcentaje para el desarrollo de resistencias tempranas. La presencia de un menor porcentaje de C_3A en el cemento le ayuda a ser más resistente ante suelos y aguas con sulfato (Kosmatka et al., 2004).

Según Portugal (2007), el aluminato tricálcico es bastante sensible a la acción de sulfatos y cloruros, La formación de sales como los sulfoaluminatos y cloroaluminatos, que poseen un carácter expansivo, puede generar grietas y provocar la desintegración del concreto; por tanto, el aumento del C_3A en el cemento disminuye la resistencia del concreto a ataque de sulfatos y a la resistencia de ciclos de hielo y deshielo

d) Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF)

Es un compuesto formado por el empleo de materias primas como el hierro y el aluminio para disminuir la temperatura de la clinkerización del proceso de fabricación de cemento. Aporta mínimamente a la



resistencia y gran parte de los efectos del color característico del cemento gris se deben al C_4AF y sus hidratos (Kosmatka et al., 2004).

2.3.2.2. Cementos portland según norma

El Instituto Nacional de la Calidad (2020), específicamente en la norma NTP 334.009 menciona seis tipos de cemento que se describe a continuación:

- **Tipo I:** De uso general, ideal para obras de concreto donde no se requieran propiedades especiales.
- **Tipo II:** De uso general y con resistencia moderada a los sulfatos
- **Tipo II (HM):** De uso general, específicamente cuando se requiere un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a sulfatos.
- **Tipo III:** De alta resistencia inicial, usado en construcciones rápidas.
- **Tipo IV:** Cemento que requiere baja calor de hidratación.
- **Tipo V:** Alta resistencia a los sulfatos, usado en ambientes agresivos.

Se debe mencionar que la NTP 334.009 indica que no todos los tipos de cementos están disponibles en todas las regiones del país y antes de especificar el uso de un cemento diferente al tipo I, se debe verificar el tipo de cemento disponible en el lugar.



2.3.2.3. Cementos hidráulicos adicionados

La NTP 334.090 (2020), clasifica a los cementos adicionados en seis tipos:

- **Tipo IS:** Cemento portland con escoria de alto horno.
- **Tipo IP:** Cemento portland puzolánico.
- **Tipo I(PM):** Cemento portland puzolánico modificado.
- **Tipo IL:** Cemento portland con adición calcárea.
- **Tipo IT:** Cemento adicionado ternario.
- **Tipo ICo:** Cemento portland compuesto.

2.3.2.4. Cementos hidráulicos según su desempeño

La NTP 334.082 (2020), clasifica a los cementos portland especiales en seis tipos las cuales se mencionan a continuación:

- **Tipo GU:** Cemento hidráulico para construcciones generales. Se utiliza cuando no se requiere ninguno de los tipos de cemento con propiedades especiales.
- **Tipo HE:** Cemento de alta resistencia inicial.
- **Tipo MS:** Cemento con resistencia moderada a los sulfatos.
- **Tipo HS:** Cemento con alta resistencia a los sulfatos.
- **Tipo MH:** Cemento con calor moderado de hidratación.
- **Tipo LH:** Cemento con bajo calor de hidratación.

2.3.2.5. Calor de hidratación

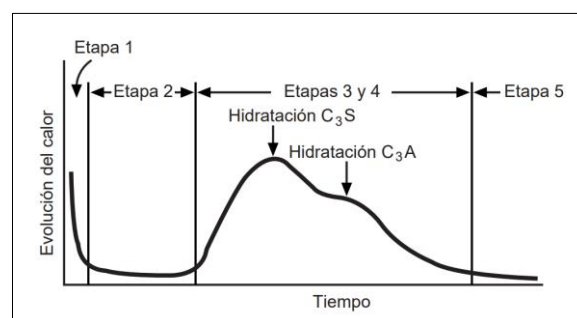
El calor de hidratación es la cantidad de energía liberada, expresada en calorías por gramo de cemento deshidratado, como resultado de una

hidratación completa a una temperatura determinada y este valor depende directamente de la composición química del cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

El desarrollo del calor en función del tiempo para una pasta de cemento se divide en cinco etapas como se muestra en la Figura 3. La primera etapa corresponde al calor liberado por el humedecimiento o hidrólisis inicial, en la que reaccionan el C_3A y el C_3S . La segunda etapa, llamado como periodo de inducción, está vinculada al fraguado inicial del cemento con poca liberación de calor. En la tercera etapa, ocurre una reacción acelerada de los productos de hidratación, lo que define la velocidad de endurecimiento y el fraguado final. La cuarta fase presenta una desaceleración en la formación de dichos productos, influyendo en el incremento temprano de la resistencia. Finalmente, la quinta etapa se desarrolla lentamente y se caracteriza por una formación más estable de productos de hidratación, estabilizando así el crecimiento de la resistencia a largo plazo (Kosmatka et al., 2004).

Figura 3

Desarrollo del calor de hidratación con el tiempo



Nota: Etapa uno: Hidrólisis inicial entre el cemento y el agua. Etapa dos: periodo del fraguado inicial del cemento. Etapa tres: Endurecimiento y fraguado final. Etapa cuatro: incrementos de resistencia inicial. Etapa cinco: crecimientos de resistencia a largo plazo. Extraído de diseño y control de mezclas de concreto (p.66), Kosmatka et al. (2004).



2.3.3. Agregados

Conocidos también como áridos, son materiales inertes que se mezclan con el cemento y el agua para formar concretos y morteros; además estos materiales deben tener buena resistencia, durabilidad y estar libres de impurezas o materias orgánicas para evitar la poca cohesión con la pasta de cemento. Estos agregados se clasifican en agregados gruesos y agregados finos (Abanto, 2009).

2.3.3.1. Agregado fino

La norma NTP 400.037 (2018) define al agregado fino como el conjunto de partículas proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca y que estas deben pasar el tamiz de 9.5 mm (3/8”) y retenidos en el tamiz 75 μm (N.º 200).

2.3.3.2. Granulometría del agregado fino

La gradación del agregado fino se define como la distribución de las partículas según su tamaño que constituyen el agregado. Se obtiene mediante el procedimiento denominado análisis granulométrico que consiste en separar una muestra de agregado en partes de igual tamaño (Sánchez de Guzmán, 2001).

La norma NTP 400.037 (2018) menciona que la serie de tamices estándar establecidos que son: 3/8”, N.º4, N.º8, N.º16, N.º30, N.º50, N.º100 y N.º200. En general la norma recomienda que la granulometría debe estar dentro de los límites establecidos de la Tabla 8.

Tabla 8

Límite granulométrico para el agregado fino

Tamiz	Porcentaje pasante (%)
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N.º 4)	95-100
2.36 mm (N.º 8)	80-100
1.18 mm (N.º 16)	50-85
600 µm (N.º 30)	25-60
300 µm (N.º 50)	5-30
150 µm (N.º 100)	0-0

Nota: Extraído de agregados. Agregados para concreto. Requisitos, NTP 400.037 (2018).

2.3.3.3. Módulo de fineza

El módulo de fineza es el valor aproximado del tamaño medio de los agregados; mientras más alto sea este valor, el agregado tendrá partículas más grandes y cuando el índice es bajo el agregado será fino. Para calcular el módulo en el agregado fino se hace la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos de los tamices estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50 y N.º 100 y todo el valor dividido entre 100 (Abanto, 2009).

2.3.3.4. Agregado grueso

Para norma NTP 400.037 (2018) el agregado grueso es el material proveniente de la roca por medio de la fragmentación natural o artificial. Este material es retenido por el tamiz N.º 4 (4.75 mm), el cual cumple los requisitos establecidos en la presente normativa.

El agregado grueso deberá estar limpio y libre de materia orgánica, además deberá tener preferentemente perfil angular o semiangular, de textura rugosa, compactas y resistentes (Rivva, 2014).

2.3.3.5. Granulometría del agregado grueso

La granulometría del agregado grueso debe estar dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037. Se debe tener en cuenta que la granulometría debe ser continua y que este permita obtener la máxima densidad del concreto, proveyendo buena trabajabilidad y consistencia; además la granulometría no deberá tener más de 5% retenido de agregado grueso en el tamiz de 1 ½” y no más de 6% en el tamiz de ¼” (Rivva, 2014).

La norma NTP 400.037 (2018) define requisitos que deben cumplir los agregados gruesos y los clasifica con la denominación husos granulométricos. La cantera de Cutimbo se aproxima con el huso granulométrico N.º 57, donde se tiene los requisitos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9

Requisitos para el agregado grueso de huso granulométrico 57

Tamiz N.º	Porcentaje que pasa (%)
1 ½” (37.5 mm)	100
1” (25.00 mm)	95-100
¾” (19.00 mm)	--
½” (12.5 mm)	25-60
⅜” (9.5 mm)	--
N.º 4 (4.75 mm)	0-10
N.º 8 (2.36 mm)	0-5

Nota: Adaptado de agregados. Agregados para concreto. Requisitos, NTP 400.037 (2018).

2.3.3.6. Tamaño máximo y máximo nominal del agregado grueso

La NTP 400.037 (2018), menciona que el tamaño máximo (T.M.) es aquel menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso



y en cambio el tamaño máximo nominal (TMN) es aquel menor tamiz de la serie utilizada quien retiene entre 5 a 10% de agregado.

Rivva (2014), menciona que el TMN. del agregado grueso no debe ser mayor a:

- Quinta parte de la menor separación entre los lados del encofrado.
- A la tercera parte de la altura de la losa.
- A los tres cuartos del espaciamiento mínimo libre entre las varillas de refuerzos individuales.

2.3.3.7. Módulo de finura del agregado grueso

El módulo de fineza del agregado grueso es un valor aproximado del tamaño medio de los agregados; mientras más alto sea este valor, el agregado tendrá partículas más grandes y cuando el índice es bajo el agregado será fino. Para calcular el módulo en el agregado grueso se hace la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos de los tamices estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N.º 4, N.º 8, N.º 16, N.º 30, N.º 50 y N.º 100 y todo el valor dividido entre 100 (Abanto, 2009).

2.3.4. Agua para el concreto

El agua a ser utilizada en las mezclas y curado del concreto deben cumplir ciertos requisitos de la norma NTP 339.088 y de ser preferiblemente potable cumpliendo los requisitos de la Tabla 10. Podrán utilizarse aguas naturales no potables siempre y cuando estén limpias de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica o alguna sustancia que pueda dañar el concreto o el acero de refuerzo; además las aguas con alta concentración de sales



deberán ser evitadas en su uso, pues ello puede afectar en el fraguado, la resistencia del concreto, estabilidad del volumen u originar la eflorescencia y la corrosión del acero de refuerzo (Rivva, 2014).

Tabla 10

Requisitos del agua para el concreto

Sustancias disueltas	Valor máximo admisible
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	1500 ppm
PH	Mayor a 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Nota: Extraído de Tecnología del Concreto (Teoría y problemas), Abanto (2009).

2.4. MARCO NORMATIVO

Las normas técnicas aplicadas en la presente investigación han sido publicadas por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL), organismo encargado de establecer los lineamientos normativos en el Perú. Estas normas se emplearon con el propósito de garantizar la confiabilidad de los ensayos realizados y cumplir los objetivos en esta investigación y se detallan a continuación:

2.4.1. NTP 339.184 (2021)

Esta norma establece los materiales necesarios y procedimientos para realizar el ensayo de la medición de temperatura del concreto en estado fresco, parámetro importante para controlar su comportamiento durante el fraguado y curado.



2.4.2. NTP 339.035 (2022)

Esta norma establece los materiales, equipos y secuencia de procedimientos para realizar el ensayo con la finalidad de medir el asentamiento del concreto como medida indirecta de la trabajabilidad del concreto mediante el uso del cono de Abrams.

2.4.3. NTP 339.046 (2019)

Esta norma permite calcular la densidad o peso unitario del concreto fresco y determinar su rendimiento volumétrico.

2.4.4. NTP 334.006 (2019)

Esta norma se aplica para determinar los tiempos de fraguado inicial y final del cemento, lo cual es fundamental en mezclas con aditivos.

2.4.5. NTP 339.034 (2021)

Esta norma permite evaluar la resistencia a compresión del concreto a diferentes edades; además de la desviación estándar permisible en los resultados.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de investigación

Pura o básica: según Baena (2017) una investigación pura es el estudio de un problema, destinado exclusivamente a la búsqueda de conocimiento. En este caso de estudio, partimos de la información existente respecto al concreto y los aditivos acelerantes en libros, normas, manuales u otras fuentes; con el fin de dar solución al problema planteado, que consistió en estudiar la adición de aditivos acelerantes de resistencia y cómo influyen estos en las propiedades físicas y propiedades mecánicas del concreto, además de obtener el costo por metro cúbico de concreto.

3.1.2. Enfoque de investigación

Enfoque cuantitativo: para Hernández et al. (2014), un enfoque cuantitativo necesita la medición, determinación de magnitudes de los problemas de investigación para contrastar las hipótesis de estudio en base a los datos recolectados mediante pruebas estadísticas para finalmente establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.1.3. Nivel de investigación

Nivel explicativo: según Arias (2012) un nivel explicativo busca encontrar la respuesta del porqué de los sucesos mediante la relación de causa efecto, pueden

ocuparse en determinar las causas como los efectos mediante las pruebas de hipótesis.

3.1.4. Diseño de investigación

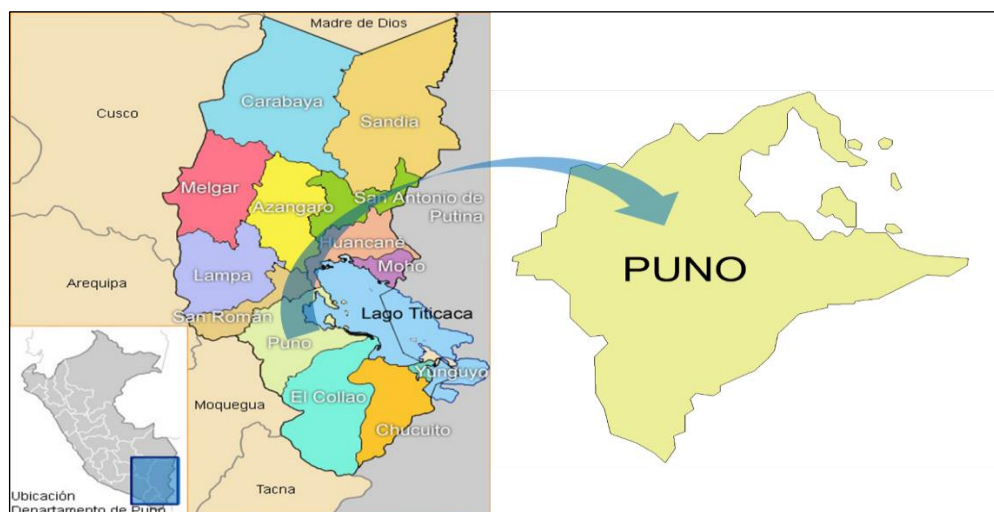
Diseño cuasiexperimental: según Hernández et al. (2014) los diseños cuasiexperimentales manipulan de forma intencional una variable independiente para evaluar su efecto sobre una o más variables dependientes. A diferencia de los experimentos puros, no hay asignación aleatoria de las unidades de análisis, sino que los grupos ya están conformados antes de la investigación. En la presente investigación los grupos están conformados por las dosificaciones con aditivo.

3.1.5. Ubicación del lugar de estudio

La presente investigación se realizó en las instalaciones de la escuela profesional de Ingeniería Civil, específicamente en el laboratorio de construcciones ubicado dentro de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno que se encuentra en la misma localidad del departamento de Puno.

Figura 4

Ubicación geográfica de la provincia de Puno



Nota: Extraído de mapas y guías del departamento de Puno, (Depuno.com, 2025)



3.1.6. Población y muestra de estudio

3.1.6.1. Población

Para Arias (2012), la población es un conjunto de elementos finitos o infinitos con características comunes los cuales serán objetivo de estudio. Para la presente investigación, la población fueron los concretos de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con incorporación de aditivos acelerantes de resistencia y concreto sin aditivos.

3.1.6.2. Muestra

Según Arias (2012), la muestra es un grupo representativo y finito extraído de la población accesible que permite generalizar los resultados al resto de la población con cierto margen de error. La elección del tamaño de la muestra es no probabilística de tipo intencional u opinático. Según Arias (2012) los elementos son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador.

Para elegir el tamaño de la muestra en la presente investigación se tomó como referencia la Norma E.060 de concreto armado, donde especifica en el capítulo 5 que para ser considerado ensayo de resistencia a la compresión se considera el promedio de dos probetas de 6" de diámetro y 12" de altura (150 mm por 300 mm). En esta investigación se realizaron probetas de 6" de diámetro y 12" de altura, con tres muestras por edad de ensayo y seleccionando un total de 108 probetas de concreto para las edades de ensayo de 3, 5, 7 y 28 días. Ver la Tabla 11 de la distribución de la muestra.

Para los ensayos de las propiedades en estado fresco o propiedades físicas se realizaron tres mediciones en la muestra de concreto en estado fresco. Finalmente, para el tiempo de fraguado del cemento, se realizaron un total de nueve mediciones para todas las dosificaciones de aditivo.

Tabla 11

Muestra de probetas de concreto para ensayo de resistencia a compresión

Descripción	Código	Número de probetas de concreto				subtotal
		3 días	5 días	7 días	28 días	
Concreto Patrón	CP	3	3	3	3	12
CP + 1.0% de SR-1	GE1	3	3	3	3	12
CP + 2.5% de SR-1	GE2	3	3	3	3	12
CP + 4.0% de SR-1	GE3	3	3	3	3	12
CP + 4.5% de SR-1	GE4	3	3	3	3	12
CP + 1.0% de PR 10	GE5	3	3	3	3	12
CP + 2.5% de PR 10	GE6	3	3	3	3	12
CP + 4.0% de PR 10	GE7	3	3	3	3	12
CP + 4.5% de PR 10	GE8	3	3	3	3	12
Total						108

Nota: Probetas elaboradas con concreto $f'c=210$ kg/cm²; el código CP representa el concreto patrón y los códigos GE1 al GE8 son los grupos experimentales enumerados del uno al ocho para cada porcentaje de dosificación de aditivo; CP + % de SR-1 representa el grupo experimental con cierto porcentaje del aditivo SikaRapid-1 y CP + % de PR 10 presenta el grupo experimental con cierto porcentaje de aditivo Per Rapid 10.

3.1.7. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables del presente estudio se muestra en la Tabla 12 y también para más detalle ir al Anexo 1 (matriz de consistencia). La investigación está conformada por las siguientes variables:

- **Variable independiente:** Proporción de aditivos acelerantes de resistencia.
- **Variables dependientes:** Propiedades físico-mecánicas y Costo de producción del concreto.

Tabla 12

Operacionalización de variables de la investigación

Variable Independiente	Dimensiones	Indicador	Valor final	Tipo de medición	Instrumento
Proporción de aditivos acelerantes de resistencia	Dosificación con aditivo Acelerante SikaRapid-1	1.0 %, 2.5%, 4.0% y 4.5% respecto al peso del cemento	%	Numérica de razón	Diseño de Mezcla por el método ACI 211
	Dosificación con Aditivo acelerante Per Rapid 10	1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respecto al peso del cemento	%	Numérica de razón	NTP 334.088
Variables dependientes	Dimensiones	Indicador	Valor final	Tipo de medición	Instrumento
Propiedades físico-mecánicas	Propiedades físicas	Ensayo de Temperatura	°C	Numérica de intervalo	NTP 339.184
		Ensayo de asentamiento del concreto	in	Numérica de razón	NTP 339.035
		Ensayo de peso unitario del concreto	kg/m ³	Numérica de razón	NTP 339.046
	Propiedades mecánicas	Ensayo de tiempo de fraguado	minutos	Numérica de razón	NTP 334.006
		Resistencia a compresión a 3; 5; 7 y 28 días	kg/cm ²	Numérica de razón	NTP 339.034
Costo de producción del concreto	Costo unitario por metro cúbico	Soles por m ³ de concreto	S/m ³	Numérica de razón	Análisis de precios unitarios

Nota: Elaboración propia.

3.1.8. Periodo de estudio

La investigación se inició en junio de 2024 con la revisión de la literatura. Posteriormente, entre julio y noviembre de 2024, se llevó a cabo la etapa de estudio de materiales y la experimentación. Finalmente, desde diciembre de 2024

hasta abril de 2025 se desarrolló la interpretación y redacción de los resultados, completando un periodo total de 11 meses.

3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.2.1. Medida de tendencia central - Media aritmética

La media o media aritmética suele ser la medida numérica más relevante para describir un conjunto de datos y es conocida habitualmente como el promedio. Se calcula mediante la expresión matemática (1); sumando todos los valores y dividiendo el resultado entre la cantidad total de datos Triola (2009).

$$Media = \frac{\sum X}{n} \quad (1)$$

Donde:

- \sum : representa la suma de un conjunto de valores.
- X: es la variable que generalmente se usa para representar los datos individuales.
- n: representa el número de valores en una muestra

3.2.2. Prueba de normalidad de Shapiro - Wilk

Según Novales (2010), citado en Flores & Flores (2021), la prueba de Shapiro-Wilk se emplea para verificar la normalidad de datos cuando el tamaño de la muestra es menor a 50 observaciones.

Luzuriaga et al. (2023) comentan que al realizar las pruebas de normalidad con Shapiro-Wilk en programa SPSS para un nivel de significancia de 5 %, los P valores mayores a 0.05 sugieren que no hay evidencia suficiente para rechazar la



hipótesis nula de que los datos siguen una distribución normal; con ello plantean las siguientes hipótesis y criterio de decisión.

3.2.2.1. Hipótesis de normalidad

- Ho: Los datos provienen de una distribución normal.
- Ha: Los datos no provienen de una distribución normal.

3.2.2.2. Criterio de decisión

- Si P valor $>$ nivel de significancia; no se rechaza la hipótesis nula
- P valor $<$ nivel de significancia; se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

3.2.3. Prueba de ANOVA de un factor

Triola (2009) indica que el análisis de varianza (ANOVA) es una prueba estadística utilizada para verificar la igualdad de tres o más medias poblacionales, a través del estudio de las varianzas muestrales. El ANOVA de un factor se emplea para probar las hipótesis que plantean que las medias de tres o más poblaciones son iguales.

Para realizar las pruebas de hipótesis se emplea el software IBM SPSS Statistics versión 26. Sin embargo, Triola (2009) menciona que para un P valor pequeño (como 0.05 o menos) este conduce al rechazo de la hipótesis nula de igualdad de medias; mientras que un P valor grande mayores a 0.05 no hacen que se rechace la hipótesis nula; además, para hacer la prueba de hipótesis haciendo uso de un programa, deberá plantearse de la siguiente manera:



3.2.3.1. Definir las hipótesis

- H_0 : Todas las medias son iguales.
- H_a : Al menos una de las medias poblacionales es diferente de las otras.

3.2.3.2. Identificar el valor P

- En este caso para un $\alpha = 0.05$.

3.2.3.3. Criterio de decisión

- Si el valor $P \leq \alpha$, rechace la hipótesis nula de medias iguales y concluya que al menos una de las medias poblacionales es diferente de las otras.
- Si el valor $P > \alpha$, no rechace la hipótesis nula de medias iguales.

3.2.4. Prueba post hoc de Tukey

Triola (2009) menciona que tras realizar un análisis de varianza (ANOVA), podemos afirmar que hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis de igualdad entre las medias poblacionales. Sin embargo, el ANOVA no nos permite determinar cuál media es diferente de las demás. Existen pruebas de comparación múltiple que evalúan pares de medias, pero que ajustan los resultados para evitar el problema de que el nivel de significancia aumente conforme se realizan más pruebas. Una de estas pruebas es la prueba de Tukey.

Para conocer las diferencias entre grupos, se utilizará el software estadístico SPSS versión 26. Este programa facilitará el análisis de varianza y las



pruebas de comparación múltiple, como la prueba de Tukey, mediante su interfaz y herramientas estadísticas integradas.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo con Borja (2012), en los proyectos de investigación en ingeniería, las técnicas de recolección de datos deben describirse junto con los formatos empleados para registrar la información, los cuales deben elaborarse sin datos previos. Además, menciona que el proceso de recolección implica seleccionar instrumentos válidos y confiables, aplicarlos a la muestra de estudio mediante observaciones, registros o mediciones, y finalmente analizar la información obtenida. Asimismo, sostiene que las principales técnicas empleadas en este proceso son la observación, la entrevista, la encuesta y las pruebas estandarizadas. En el caso de la presente investigación, de acuerdo con los objetivos planteados, se aplicaron la observación sistemática y las pruebas estandarizadas, considerando los ensayos de laboratorio para las propiedades del concreto y la resistencia a compresión. Finalmente, el registro documental para el análisis de costos.

3.3.1. Estudio de materiales

- **Técnicas:** Observación sistemática y pruebas estandarizadas.
- **Instrumentos:** Fichas de laboratorio para registrar análisis granulométrico de agregados fino y grueso, ensayo de peso específico y absorción de agregados, ensayo de peso unitario suelto y compactado, determinación del contenido de humedad de los agregados, peso específico del cemento.

3.3.2. Objetivo 1: Medir las propiedades físicas del concreto fresco

- **Técnicas:** Observación sistemática y pruebas estandarizadas.



- **Instrumentos:** Fichas de recolección de datos de laboratorio para temperatura, asentamiento y peso unitario del concreto fresco, así como para el fraguado del cemento; Microsoft Excel para el procesamiento preliminar de datos; software IBM SPSS Statistics versión 26 para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) en las propiedades del concreto fresco y pruebas de Tukey.
- **Nota:** En el caso del fraguado del cemento únicamente se realizó un registro descriptivo de los tiempos, sin aplicar estadística inferencial.

3.3.3. Objetivo 2: Evaluar la resistencia a compresión del concreto

- **Técnicas:** Pruebas estandarizadas de laboratorio.
- **Instrumentos:** Fichas de recolección de datos de laboratorio para registrar los valores de resistencia de las probetas a diferentes edades; Microsoft Excel para el procesamiento de datos de la resistencia a compresión; IBM SPSS Statistics versión 26 para el análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey.

3.3.4. Objetivo 3: Analizar el costo de producción del concreto

- **Técnicas:** Registro documental y análisis descriptivo.
- **Instrumentos:** Cotizaciones de mercado de materiales, análisis de precios unitarios (APU) elaborados en Microsoft Excel, procesador de texto Microsoft Word para la redacción de los resultados.
- **Nota:** En este objetivo no se aplicaron pruebas estadísticas, dado que el análisis fue únicamente descriptivo.

3.4. MATERIALES UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Cemento

El material cementante utilizado en la investigación fue el cemento Yura Max de tipo HS (ver Figura 5), el cual se ha venido distribuyendo desde julio del 2024 y reemplazando la producción de cemento Portland Tipo IP que anteriormente Yura distribuía en el mercado. El cemento Yura Max, según la información en su ficha técnica, ofrece una mayor resistencia y durabilidad frente a ambientes agresivos, cumpliendo las normativas NTP 334.082 para cementos tipo HS y garantizando un mejor desempeño en obras expuestas a sulfatos y además de promover las prácticas sostenibles mediante la reducción de la huella de carbono en su producción. Las características del cemento utilizado se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13

Características técnicas del cemento Yura tipo HS

Requisitos	NTP 334.082 ASTM C 1157/C 1157M	Cemento Yura tipo HS
Requisitos físicos		
Densidad (g/cm ³)	-	2.7 a 2.8
Expansión de autoclave (%)	máximo 0.80	-0.09 a 0.03
Tiempo de fraguado inicial	45 a 420	170 a 280
Vicat (minutos)		
Contenido de aire (%)	máximo 12	3 a 8
Expansión de la barra de mortero a 14 días (%)	máximo 0.020	<0.020
Resistencia a la compresión		
3 días (kg/cm ²)	mínimo 112	150 a 200
7 días (kg/cm ²)	mínimo 184	190 a 230
28 días (kg/cm ²)	mínimo 255	270 a 310
Resistencia a los sulfatos		
Expansión a 6 meses (%)	Máximo 0.05	0.03 a 0.05
Expansión a 12 meses (%)	Máximo 0.10	0.04 a 0.05
Expansión a 18 meses (%)	-	0.04 a 0.06

Nota: Recuperado de ficha técnica 2024 / V.3 Yura Max tipo HS, Cemento Yura (2024),

<https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/FICHA-TECNICA-YURA-MAX-2024.pdf>

Figura 5

Cemento Yura Max tipo HS



Nota: Recuperado de ficha técnica 2024 / V.3 Yura Max tipo HS.

3.4.2. Aditivos acelerantes de resistencia

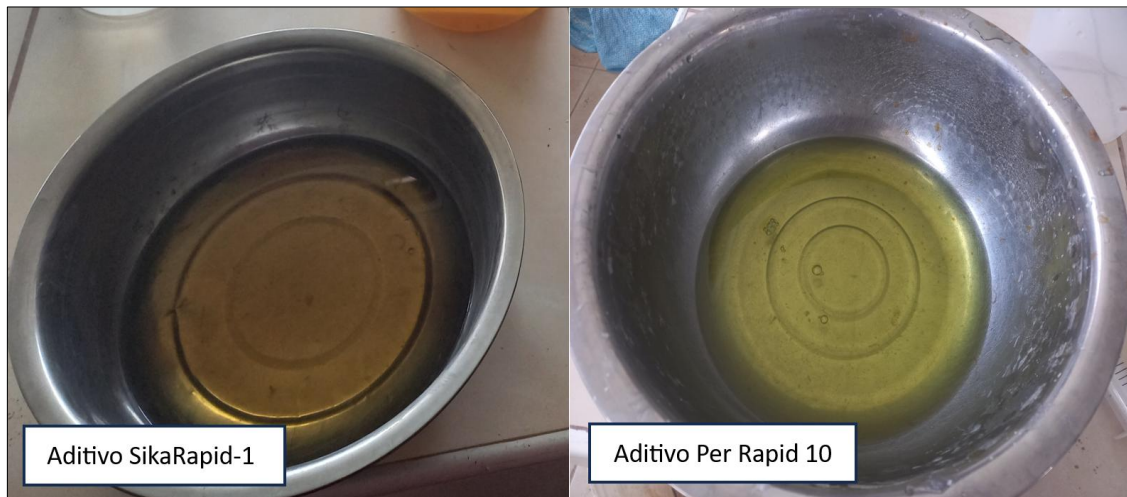
Los aditivos que se emplearon en la presente investigación fueron los aditivos acelerantes de resistencia SikaRapid-1 y el Per Rapid 10; ambos según indicación de sus fichas técnicas diseñados para acelerar las resistencias iniciales del concreto y así mismo ayudar a acelerar el fraguado en el concreto. En su composición química, los aditivos utilizados son libres de cloruros y álcalis, con ello, ayudan a evitar la corrosión del acero utilizado en el concreto armado. Ambos aditivos se clasifican como Tipo C, y el Per Rapid 10 también tiene una clasificación de tipo E según la norma ASTM C-494 y la norma técnica peruana NTP 334.088.

Se menciona que la cantidad de aditivo utilizado para ambos casos es de 1.0%, 2.5%, 4.0% y un porcentaje adicional de 4.5% que está fuera del rango recomendado por los fabricantes; todos los porcentajes empleados son respecto al peso de cemento. En la Figura 6 se puede visualizar el color del aditivo SikaRapid-

1 y el aditivo Per Rapid 10, mientras que en la Tabla 14 se detalla más información de las características de ambos aditivos acelerantes de resistencia.

Figura 6

Coloración de los aditivos acelerantes de resistencia



Nota: Elaboración propia.

Tabla 14

Características de los aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10

Descripción	SikaRapid-1	Per Rapid 10
Apariencia	Líquido	Líquido
Color	Amarillento a marrón	Amarillo translucido
Densidad	1.27 kg/L \pm 0.01	1.28 kg/L
Composición	Libre de cloruros	Libre de álcalis y cloruros
Normativas	ASTM C-494, Tipo C	ASTM C-494, Tipo C y E
Rango aplicable	1% - 4%	0.5% - 4%
Temperatura de aplicación	Entre 5 °C y 30 °C	Entre 5 °C y 30 °C
Almacenamiento	-5 °C a 40 °C	-5 °C a 45 °C
Compatibilidad	Compatible con productos Sika	Compatible con productos AE
Contenido de VOC	< 420 g/L (cumple LEED V3 IEQc 4.1)	< 420 g/L (cumple LEED V3 IEQc 4.1)

Nota: Adaptado de fichas técnicas de los aditivos SikaRapid-1, Sika (2019),

https://per.sika.com/dam/dms/pe01/z/sikarapid_-1.pdf y Per Rapid 10, AE aditivos especiales (2024),

<https://www.aditivosespeciales.com.pe/userfiles/files/FICHAS%20TECNICAS/FT%20PER%20RAPID%2010.pdf>

Para más detalle de la información de los aditivos acelerantes, ir al Anexo 11 que corresponde a la ficha técnica de aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10.

3.4.3. Agregados

El agregado utilizado en la investigación proviene de la cantera de Cutimbo, que está ubicado en el distrito de Pichacani, provincia de Puno, departamento de Puno. Está a 27.9 km aproximadamente desde la UNA Puno al punto de extracción y exactamente a 1.20 km aguas abajo del desvío del puente Cutimbo, tal como se muestra en la Figura 7 y las coordenadas UTM como se muestran en la Tabla 15. Cabe señalar que dicha cantera es ampliamente utilizada por la población de Puno como fuente de agregado para la producción de concreto.

Figura 7

Ubicación de la cantera



Nota: Imagen tomada de Google Earth.

Tabla 15

Coordenadas UTM de la cantera Cutimbo

Descripción	Este (m)	Norte (m)	Zona UTM	Altitud (m s.n.m.)
Punto de extracción	393,326.578	8,227,037.699	19 K	3,896.84

Nota: Extraído del Anexo 16 (estudio de potencia de cantera y plano topográfico).

La cantera tiene una potencia aproximada 2,917.40 m³ según el estudio de potencia realizado en el mes de julio del 2025, época con bajas cantidades de material. Ver el Anexo 16 (Potencia de cantera y plano topográfico) para más detalle. Para el estudio de agregados, se realizó el proceso de tamizado del agregado con el tamiz normalizado N° 4, separando en agregado grueso y en agregado fino tal como se describe en el Anexo 4 (procedimiento de ensayos de agregados). Las Figura 8 y Figura 9 muestran la extracción del agregado para realizar los estudios del agregados y elaboración del concreto.

Figura 8

Acarreo de agregados de la cantera de Cutimbo



Nota: Elaboración propia.

Figura 9

Material agregado para traslado al laboratorio



Nota: Elaboración propia.

3.4.4. Agua

El agua que se utilizó en esta investigación proviene de la red de abastecimiento de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, específicamente del laboratorio de construcciones de la EPIC, el cual presume que cumple los parámetros establecidos de la norma NTP 339.088 agua para mezclas de concreto. La Figura 10 muestra la medición del PH del agua.

Figura 10

Medición del PH del agua



Nota: Elaboración propia, se utilizó un medidor de PH de agua de marca ATC.

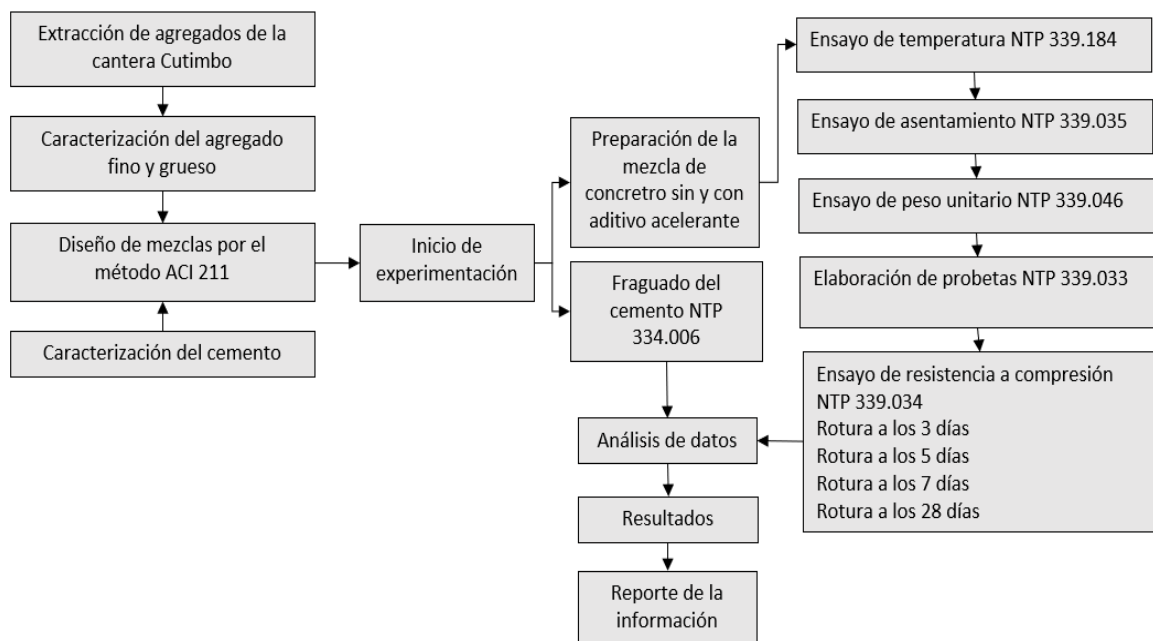
De acuerdo a la medición del PH del agua, se obtuvo un valor de 7.61, dándonos a entender que el agua es ligeramente alcalina y apto para la preparación del concreto ya que la normativa establece como mínimo un valor 7 en el PH del agua para concreto.

3.5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para realizar los ensayos en la investigación, se siguió la secuencia mostrada en la Figura 11 con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados en esta investigación.

Figura 11

Procedimiento experimental



Nota: Elaboración propia.

3.6. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

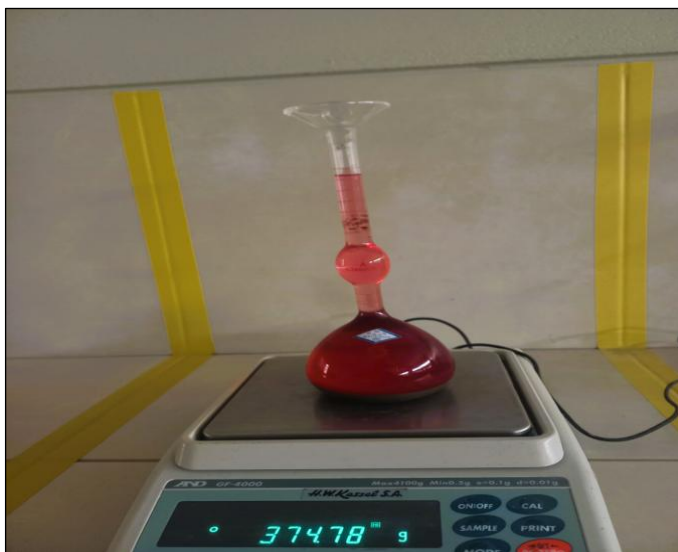
3.6.1. Determinación de la densidad del cemento

La norma NTP 334.005 (2018) establece el método de ensayo para determinar la densidad del cemento. El cemento utilizado para el ensayo es el

Cemento Yura Max de tipo HS, cuya densidad brindada varía entre 2.7 a 2.8 g/cm³ como se especifica en su ficha técnica. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 (Procedimiento de ensayos de agregados) y los resultados se muestran en el Anexo 5 (resultados del estudio de agregados). La Figura 12 muestra uno de los procedimientos del ensayo de la densidad del cemento.

Figura 12

Determinación de la densidad del cemento Yura Max tipo HS



Nota: Elaboración propia.

3.6.2. Análisis granulométrico por tamizado

3.6.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino

Para realizar el ensayo se siguieron las recomendaciones de la norma NTP 400.012 (2021). El ensayo consiste en pasar por una serie de tamices estandarizados una masa seca de agregado y de peso conocido para finalmente conocer la distribución del tamaño de sus partículas. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5. Las Figura 13 y Figura 14 muestran los ensayos realizados el análisis granulométrico del agregado fino y grueso.

3.6.2.2. Análisis granulométrico del agregado grueso

La granulometría del agregado grueso se determina siguiendo los procedimientos de la norma NTP 400.012 (2021). Para este ensayo se necesitan como mínimo 10 kg de muestra para un tamaño máximo nominal (TMN) de una pulgada. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5.

Figura 13

Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino



Nota: Elaboración propia.

Figura 14

Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso



Nota: Elaboración propia.

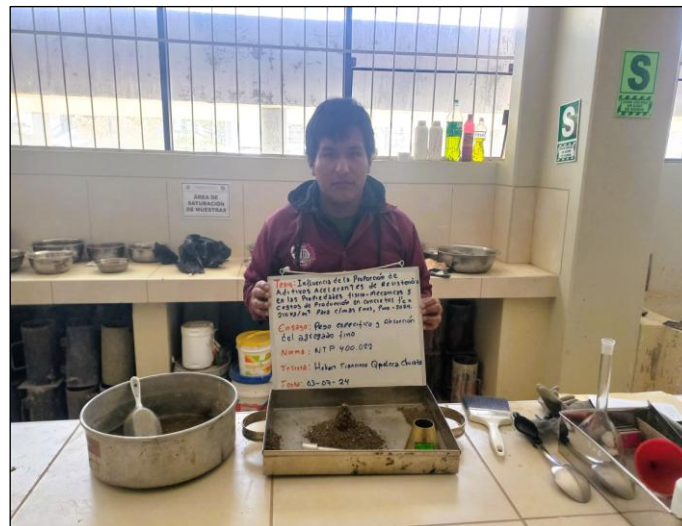
3.6.3. Peso específico y absorción de agregados

3.6.3.1. Peso específico y absorción del agregado fino

Para realizar el ensayo de densidad relativa o peso específico y también la absorción del agregado fino se toma como referencia las indicaciones de la norma NTP 400.022 (2024). Su valor calculado ayuda a estimar la cantidad de material que ocuparan en mezclas de concreto en función a un volumen absoluto y con respecto a la absorción del agregado fino, este valor nos da la idea de la capacidad del material para retener agua. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5. La Figura 15 muestra el proceso de la obtención de la muestra saturada superficialmente seca (SSS) del agregado fino.

Figura 15

Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino



Nota: Elaboración propia.

3.6.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso

Para realizar el ensayo de densidad relativa o peso específico y también la absorción del agregado grueso se toma como referencia las

indicaciones de la norma NTP 400.021 (2020), su valor calculado ayuda a estimar el volumen ocupado en las mezclas de concreto con cemento portland que tiene el agregado grueso en base a un volumen absoluto y con respecto a la absorción, el valor obtenido ayuda a calcular el cambio de peso que sufre la muestra de agregado grueso debido a la absorción de agua dentro de los poros de este material en comparación de una muestra seca. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5. La Figura 16 muestra el procedimiento para determinar la densidad del agregado grueso.

Figura 16

Ensayo de densidad relativa y absorción del agregado grueso



Nota: Elaboración propia.

3.6.4. Peso unitario suelto y compactado de agregados

3.6.4.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

El ensayo se realizó en base a las recomendaciones de la norma NTP 400.017 (2020) y la finalidad es calcular los vacíos que existen entre las partículas de agregado fino, grueso o mezclado de ambos en

condiciones de suelto o compactado. El ensayo de peso unitario equivale también a describir como peso por unidad de volumen del material. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5. La Figura 17 muestra el cuarteo del material para realizar el ensayo correspondiente.

Figura 17

Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino



Nota: Elaboración propia.

3.6.4.2. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

El ensayo se realizó conforme a las recomendaciones de la norma NTP 400.017 (2020). La finalidad del ensayo es calcular los vacíos que existen entre las partículas del agregado grueso en condiciones de suelto o compactado. El ensayo de peso unitario también se describe como el peso por unidad de volumen del material. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4 y los resultados se muestran en el Anexo 5. La Figura 18 muestra el ensayo del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Figura 18

Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso



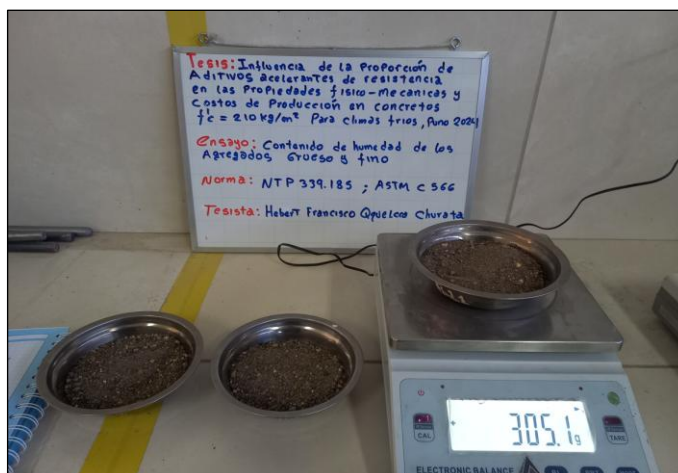
Nota: Elaboración propia.

3.6.5. Contenido de humedad del agregado fino y grueso

Realizado según la norma NTP 339.185 (2021) donde la finalidad es determinar el porcentaje de humedad que pueda evaporarse por secado de las muestras del agregado que incluyen la humedad existente en la superficie o dentro de los poros del material. El procedimiento de ensayo se muestra en el Anexo 4. En la Figura 19 y Figura 20 se muestran los ensayos del contenido de humedad.

Figura 19

Ensayo de contenido de humedad del agregado fino



Nota: Elaboración propia.

Figura 20

Ensayo de contenido de humedad del agregado grueso



Nota: Elaboración propia.

3.7. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO POR EL MÉTODO ACI 211

De acuerdo con Cordero et al. (2018), el diseño de mezclas de concreto cumple un rol esencial en la construcción, ya que define propiedades clave como la resistencia, el acabado superficial y la trabajabilidad del concreto, material ampliamente utilizado en ingeniería. Este procedimiento se basa en los lineamientos establecidos por la guía ACI 211 del Instituto Americano del Concreto, la cual proporciona una metodología sistemática que contempla variables como la relación agua/cemento, el contenido de cemento, el aire incorporado, el asentamiento, el tamaño máximo del agregado, la resistencia requerida, y las características de los materiales constituyentes.

En la presente investigación, el desarrollo completo de este procedimiento se presenta en el Anexo 6 (diseño de mezclas); sin embargo, la Tabla 16 muestra las cantidades de material para un metro cúbico de concreto resultado del diseño de mezclas, además de las cantidades de aditivo acelerante necesario.

Tabla 16*Cantidad de materiales según dosis de aditivos para 1 m³ de concreto*

Descripción	Cemento (kg/m³)	Ag. Grueso (kg/m³)	Ag. Fino (kg/m³)	Agua (L)	Aditivo (L)
Patrón	335.07	1,036.73	598.41	209.72	0
Con aditivo SikaRapid-1					
1.0 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	207.08	2.64
2.5 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	203.12	6.60
4.0 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	199.16	10.55
4.5 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	197.84	11.87
Con aditivo Per Rapid 10					
1.0 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	207.10	2.62
2.5 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	203.17	6.54
4.0 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	199.25	10.47
4.5 % de aditivo	335.07	1,036.73	598.41	197.94	11.78

Nota: Elaboración propia.

3.8. ELABORACIÓN Y CURADO DEL CONCRETO

3.8.1. Elaboración de probetas de concreto

La norma NTP 339.033 (2021) establece el procedimiento para realizar el moldeo de especímenes cilíndricos de concreto, así como las condiciones de curado. Para la presente investigación, las muestras cilíndricas de concreto fueron realizadas en tamaños de 6 in de diámetro y 12 in de altura como se observan en la Figura 21.

3.8.1.1. Equipos y materiales

- Moldes cilíndricos.
- Varilla lisa compactadora de 16 mm y longitud de 600 mm.
- Martillo de caucho de masa 0.6 ± 0.2 kg.
- Cucharón y plancha metálica.
- Carretilla.

3.8.1.2. Procedimiento

- Limpiar y aplicar desmoldante en el interior del molde para facilitar el desmoldeo posterior; los moldes deberán colocarse en un lugar nivelado y de preferencia ya no ser movidos una vez realizado el moldeo del concreto.
- Colocar la primera capa de concreto distribuido uniformemente y comenzar con el apisonado con la barra lisa para compactar la muestra con 25 golpes por capa, después del apisonado se golpea con el martillo de caucho unas 10 a 15 veces para eliminar los vacíos y burbujas atrapados y repetir el procedimiento anterior para llenar las dos capas faltantes.

Figura 21

Elaboración de probetas de concreto



Nota: Elaboración propia.

3.8.2. Curado de probetas de concreto

El proceso de curado se realizó en condiciones ambientales en las pozas de curado de las instalaciones del laboratorio de construcciones de la EPIC de la

UNA PUNO a temperatura de agua aproximada de 13 °C tal como se muestran en la Figura 22 y Figura 23.

Figura 22

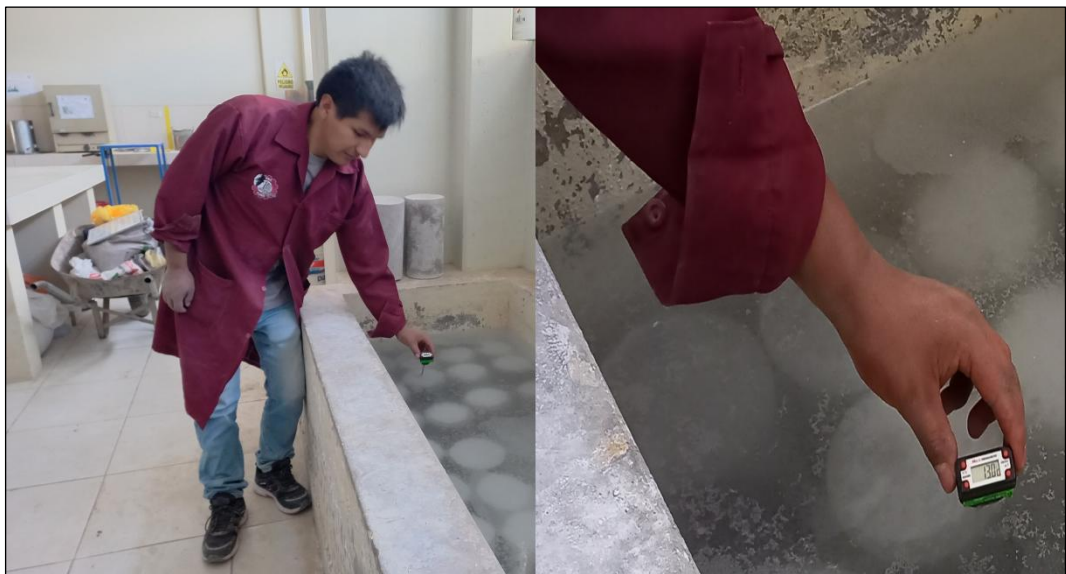
Curado de probetas de concreto a temperatura ambiente



Nota: Elaboración propia.

Figura 23

Lectura de temperatura de agua de curado



Nota: Elaboración propia.

3.9. ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

3.9.1. Ensayo de temperatura del concreto

La NTP 339.184 (2021) establece el procedimiento para determinar la temperatura del concreto en estado fresco (ver Figura 24); este resultado en obra puede ser usado para dar conformidad a la temperatura del concreto requerido.

3.9.1.1. Equipos y materiales

- Recipiente para muestreo de concreto.
- Dispositivo para medir temperatura con exactitud de ± 0.5 °C.

3.9.1.2. Procedimiento

- En la mezcla de concreto fresco, colocar el dispositivo de medición de temperatura del concreto hasta sumergir 75 mm y haciendo presión suavemente alrededor de la superficie del dispositivo.
- Esperar por un periodo no menor a dos minutos ni por más de cinco minutos, hacer la lectura y anotar con precisión de 0.5 °C.

Figura 24

Medición de la temperatura del concreto fresco



Nota: Elaboración propia.



3.9.2. Ensayo de asentamiento del concreto

La norma NTP 339.035 (2021) indica que este método de ensayo se utiliza para medir el asentamiento del concreto. Se recomienda utilizar este método cuando el agregado grueso de la mezcla es menor a 37.5 mm de tamaño.

3.9.2.1. Equipos y materiales

- Molde metálico de forma cónica, de diámetro superior de cuatro pulgadas, diámetro inferior de ocho pulgadas y altura de 12 pulgadas.
- Barra metálica lisa de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de diámetro, de longitud de 600 mm.
- Flexómetro.
- Cucharón metálico.
- Base metálica.

3.9.2.2. Procedimiento

- Humedecer el molde cónico y colocar sobre la base metálica que esté nivelada, asegurar pisando las aletas del cono para que no haya movimiento durante el ensayo.
- Colocar la primera capa de concreto con el cucharón metálico el cual representa la tercera parte del total y compactar con 25 golpes distribuidos uniformemente.
- Completar la segunda y tercera capa de concreto compactando al igual que en la primera capa. Para el acabado final se enrasa con la barra compactadora y se procede a limpiar.

- Retirar el molde metálico del concreto en vertical evitando movimientos laterales y de torsión en un tiempo de $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$.
- Se mide el asentamiento que corresponde a la diferencia entre la altura del molde cónico y la cara superior del cono deformado. El ensayo no debe durar más de dos minutos con 30 segundos.

Figura 25

Ensayo de asentamiento del concreto fresco



Nota: Elaboración propia.

3.9.3. Ensayo de peso unitario del concreto

La norma NTP 339.046 (2019) establece el procedimiento para realizar el ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco y así mismo determinar el rendimiento. La Figura 26 muestra el ensayo realizado para determinar el peso unitario del concreto fresco.

3.9.3.1. Equipos y materiales

- Barra compactadora lisa con diámetro de 16 mm y longitud de 600 mm.
- Balanza de precisión.



- Recipiente metálico para un TMN del agregado grueso que es de 1”, la capacidad mínima será de seis litros.
- Placa de alisado.
- Mazo de caucho.
- Cucharón metálico.

3.9.3.2. Procedimiento

- Colocar la muestra de concreto en el recipiente calibrado en tres capas; con 25 golpes por capa y de forma uniforme en toda la sección; después de compactar se debe de golpear con el mazo de caucho entre 10 a 15 golpes por capa.
- Después de terminada la compactación de la última capa, se deberá alisar y hacer un acabado de la superficie con la placa plana.
- Hacer la limpieza de los bordes del molde metálico del concreto sobrante y se procede a pesar.

3.9.3.3. Cálculos

Para determinar el valor del peso unitario del concreto fresco se utiliza la expresión matemática (2).

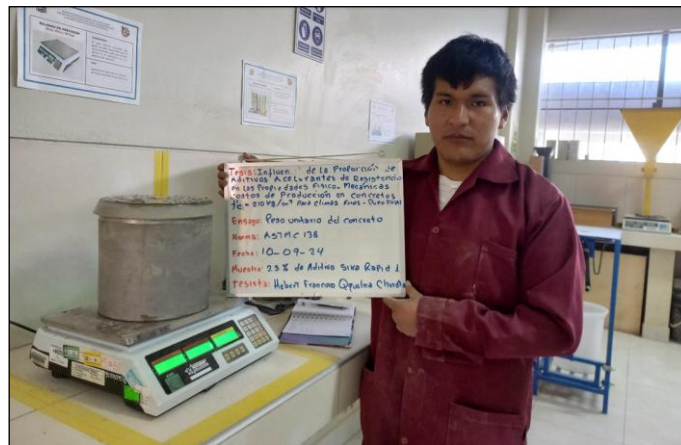
$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m} \quad (2)$$

Donde:

- M_c : Masa del concreto y recipiente (kg)
- M_m : Masa del recipiente (kg)
- V_m : Volumen del recipiente (m^3)
- D : Densidad o peso unitario (kg/m^3)

Figura 26

Ensayo de peso unitario del concreto



Nota: Elaboración propia.

3.9.4. Ensayo de tiempo de fraguado

La norma NTP 334.006 (2019) establece el procedimiento para realizar el ensayo de tiempo de fraguado del cemento con la aguja Vicat. Para el presente ensayo se hace uso del método A, descrito por la norma que corresponde al uso manual del aparato de Vicat. El método de ensayo consiste en preparar una mezcla con cemento y agua de consistencia normal según descrito en la NTP 334.074; el fraguado del cemento comienza desde el contacto del agua con el cemento y el tiempo de fraguado inicial se alcanza cuando la aguja Vicat registra 25 mm y el fraguado final termina cuando la aguja Vicat no deja ninguna marca en la muestra de cemento. La Figura 27 muestra el ensayo realizado para el tiempo de fraguado.

3.9.4.1. Equipos y materiales

- Aparato Vicat con varilla móvil de $300 \text{ g} \pm 0.5 \text{ g}$ y aguja de 1 mm $\pm 0.05 \text{ mm}$ de diámetro.
- Balanza de precisión.
- Probetas graduadas de 200 ml o 250 ml de capacidad.



- Placa plana no absorbente cuadrada de $100 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.
- Paleta plana de 100 mm a 150 mm de longitud.
- Anillo cónico no absorbente de altura $40 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$, $60 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro superior, $70 \pm 3 \text{ mm}$ de diámetro inferior.
- Recipiente para mezclado manual.
- Recipiente hermético como cámara húmeda.

3.9.4.2. Procedimiento

- Previamente se debe determinar la consistencia normal del cemento siguiendo las indicaciones de la NTP 334.074 (consistencia normal del cemento), para ello se realizó el ensayo correspondiente tomando 650 g de cemento tipo HS y el agua óptima encontrado fue de 234 g donde al realizar la prueba, en 30 segundos se obtuvo una penetración de 10 mm.
- Pesar 650 g de cemento y 234 g de agua obtenido del ensayo de consistencia normal del cemento. Una vez que se comienza a mezclar el cemento con el agua se debe registrar la hora de inicio.
- Mezclar la muestra y formar una masa esférica con las manos y se deberá de arrojar seis veces de una a otra mano separadas una distancia aproximada de 150 mm.
- Colocar la masa preparada en el molde tronco cónico y sobre la placa plana no absorbente y alisar la superficie con una sola pasada, en caso sea necesario alisar más, la norma recomienda pasar una a dos toques ligeros con la espátula sin generar presión en la pasta y



dejar en el recipiente hermético o cámara húmeda como recomienda la norma.

- Se comienza con las penetraciones después de 30 minutos desde el contacto inicial entre el cemento y el agua, después de la primera penetración se realizan cada 15 minutos hasta terminar con el fraguado final.
- Cuando se realizan las pruebas de penetración se debe dejar caer la aguja y esperar 30 s para tomar la lectura.
- Cuando la prueba de penetración llega a 25 mm, es el tiempo inicial de fraguado; mientras que cuando la prueba de penetración no deja marcado en la pasta de cemento se termina el ensayo obteniéndose el tiempo de fraguado final.

3.9.4.3. Cálculos

Los datos se registran de acuerdo al formato de recolección de datos y se procede a calcular el tiempo de fraguado inicial siguiendo la expresión matemática (3).

$$T = \left(\frac{H-E}{C-D} \right) \times (C-25) + E \quad (3)$$

Donde:

- E: tiempo en minutos de la última penetración superior a 25 mm.
- H: tiempo en minutos de la primera penetración inferior a 25 mm.
- C: lectura de penetración en el tiempo E.
- D: lectura de penetración en el tiempo H.
- T: tiempo de fraguado inicial.

Figura 27

Ensayo de tiempo de fraguado mediante de método Vicat



Nota: Elaboración propia.

3.10. ENSAYO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

3.10.1. Ensayo de resistencia a la compresión

La norma NTP 339.034 (2021) establece el procedimiento para realizar la prueba de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto. Este ensayo permite conocer la calidad del concreto mediante la medición de carga máxima que soporte antes que tienda a fallar. La Figura 28 muestra el ensayo de resistencia a compresión del concreto.

3.10.1.1. Equipo e instrumentos:

Equipo de compresión con exactitud de $\pm 1\%$ de carga aplicada, platos metálicos de retención, neoprenos, vernier, brocha para limpieza.

3.10.1.2. Procedimiento:

- Sacar las muestras de la poza de curado y medir el diámetro promedio para calcular el área de sección transversal.

- Colocar las muestras de concreto en los platos retenedores con neopreno y colocar en la máquina de compresión donde la alimentación y centrado debe realizarse minuciosamente.
- Aplicar la carga de forma constante a una velocidad de 0.25 MPa/s hasta el punto de falla y anotar la carga máxima.

3.10.1.3. Cálculos

Para determinar la resistencia a compresión alcanzada del concreto, se hace uso de la expresión matemática (4).

$$f'c = \frac{4xP}{\pi xD^2} \quad (4)$$

Donde:

- P: Carga máxima aplicada (kg)
- D: Diámetro promedio (cm)
- f'c: Resistencia a la compresión simple (kg/cm²)

Figura 28

Ensayo de resistencia a la compresión simple



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CONCRETO

4.1.1. Resultado de la temperatura del concreto

Este ensayo se ejecutó con la finalidad de medir la temperatura del concreto fresco y conocer el efecto que ocasiona el uso de aditivos acelerantes de resistencia como es el SikaRapid-1 y el Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%. Para estas mediciones se registraron 3 repeticiones por cada grupo experimental y así mismo se registró la temperatura del agua antes de comenzar con el mezclado del concreto con la intención de ver el incremento de la temperatura en el concreto. La Tabla 17 muestra los resultados de las mediciones de temperatura en las muestras de concreto fresco.

Tabla 17

Resultados del ensayo de temperatura del concreto

Muestra de concreto	Temp. del agua (°C)	Temperatura del concreto (°C)				Incremento (°C)
		M-1	M-2	M-3	Promedio	
Concreto Patrón	14.2	14.70	14.80	14.50	14.67	0.47
CP + 1.0% de SR-1	14.0	14.50	14.60	14.70	14.60	0.60
CP + 2.5% de SR-1	12.5	13.10	13.20	13.30	13.20	0.70
CP + 4.0% de SR-1	11.6	12.30	12.40	12.20	12.30	0.70
CP + 4.5% de SR-1	13.9	14.70	14.80	14.90	14.80	0.90
CP + 1.0% de PR 10	14.9	15.50	15.60	16.80	15.97	1.07
CP + 2.5% de PR 10	14.4	15.50	15.60	17.90	16.33	1.93
CP + 4.0% de PR 10	14.9	16.70	16.80	16.30	16.60	1.70
CP + 4.5% de PR 10	15.2	17.80	17.90	18.20	17.97	2.77

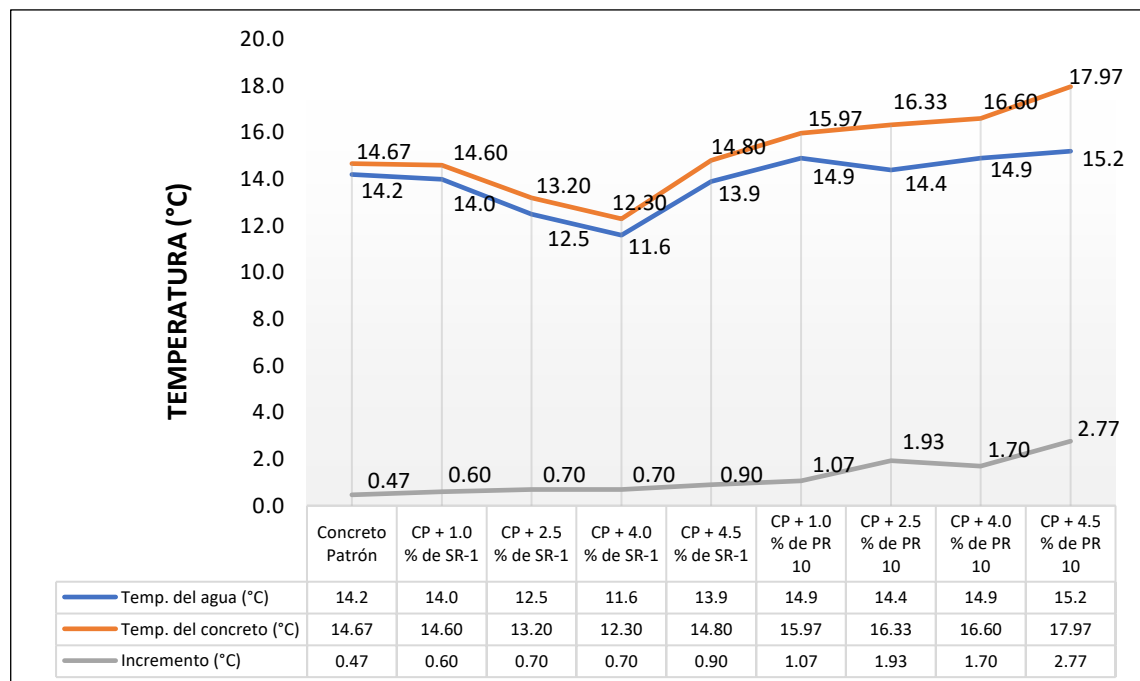
Nota: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra la comparación de las temperaturas del concreto patrón y grupos experimentales con aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en donde

se observa que, a pesar de la variación de temperatura del agua utilizado en las mezclas de concreto, en todos los casos existe un aumento de temperatura en el concreto y se debe a la hidratación del cemento y liberación de calor en la mezcla. El concreto patrón llegó a una temperatura de 14.67 °C, mientras que para el aditivo SikaRapid-1 a medida que se incrementa el porcentaje de dosificación, la temperatura aumenta levemente lo que podría significar que este aditivo distribuye la reacción de hidratación de forma más controlada. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10 el aumento de temperatura es más alto, lo que indica que acelera la hidratación y la liberación de calor en las primeras horas. En conclusión, ambos aditivos en dosificación de 4.5% aumentan la temperatura del concreto más rápido que las demás dosificaciones.

Figura 29

Temperaturas del concreto patrón y los grupos experimentales



Nota: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados del asentamiento del concreto

Se realizó con la finalidad de conocer el efecto que causan los aditivos acelerantes de resistencia en la trabajabilidad respecto al concreto patrón. Los resultados del ensayo de asentamiento para el concreto patrón y los grupos experimentales con los aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, se muestran a continuación en la Tabla 18.

Tabla 18

Resultados del asentamiento del concreto fresco

Grupo experimental	Medición (In)			Slump promedio (in)	Slump promedio (cm)	Variación porcentual
	M-1	M-2	M-3			
Concreto Patrón	3.465	3.661	3.622	3.583	9.10	0.00%
CP + 1.0% de SR-1	3.484	3.504	3.583	3.524	8.95	-1.65%
CP + 2.5% de SR-1	3.346	3.386	3.425	3.386	8.60	-5.49%
CP + 4.0% de SR-1	3.346	3.248	3.307	3.301	8.38	-7.88%
CP + 4.5% de SR-1	3.268	3.228	3.307	3.268	8.30	-8.79%
CP + 1.0% de PR 10	3.425	3.268	3.504	3.399	8.63	-5.13%
CP + 2.5% de PR 10	3.465	3.543	3.524	3.510	8.92	-2.01%
CP + 4.0% de PR 10	3.661	3.563	3.622	3.615	9.18	0.92%
CP + 4.5% de PR 10	3.858	3.984	3.701	3.848	9.77	7.40%

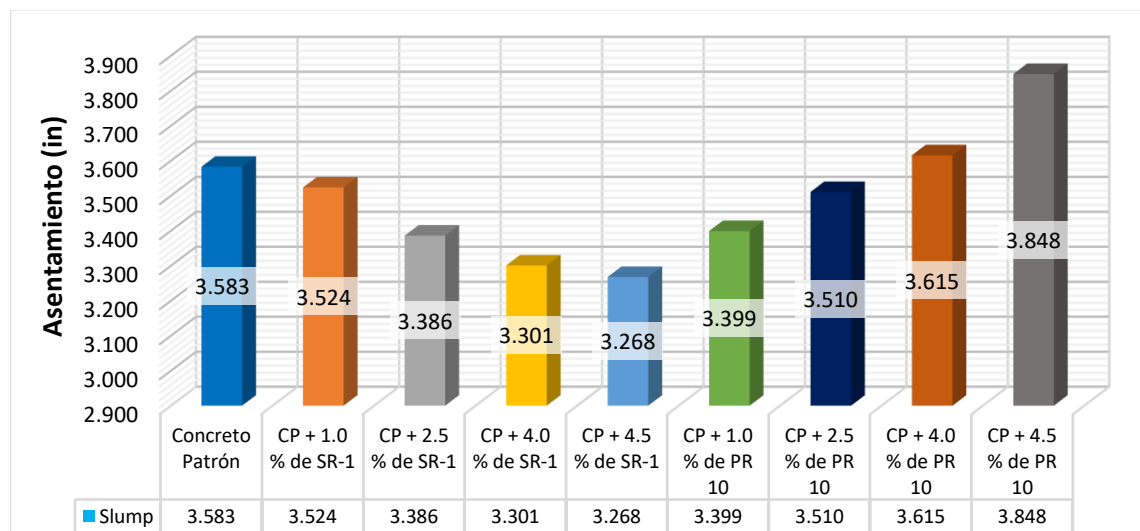
Nota: Elaboración propia.

La Figura 30 muestra la comparación del asentamiento del concreto patrón y grupos experimentales con los aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 donde se observa que, el concreto patrón tiene un asentamiento de 3.583 pulgadas o equivalente a 9.10 cm. Para los concretos con aditivo acelerante SikaRapid-1

existe una disminución en el asentamiento y se evidencia más en el grupo experimental CP + 4.5% de SR-1, con una reducción del 8.79% respecto al concreto patrón. Para concretos con el aditivo acelerante Per Rapid 10 existe un aumento en el asentamiento, específicamente en el grupo experimental CP + 4.5% de PR 10, con aumento de 7.40% respecto al concreto patrón; esto debido a que el acelerante también es reductor de agua y plastificante. En conclusión, ambos aditivos mantienen el asentamiento para el cual fueron diseñados que es de 3 a 4 pulgadas.

Figura 30

Asentamientos del concreto patrón y los grupos experimentales



Nota: Elaboración propia.

4.1.3. Resultados del peso unitario del concreto

Los resultados de los pesos unitarios para el concreto patrón y concretos dosificados con los aditivos acelerantes de resistencia SikaRapid-1 y Per Rapid 10 se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

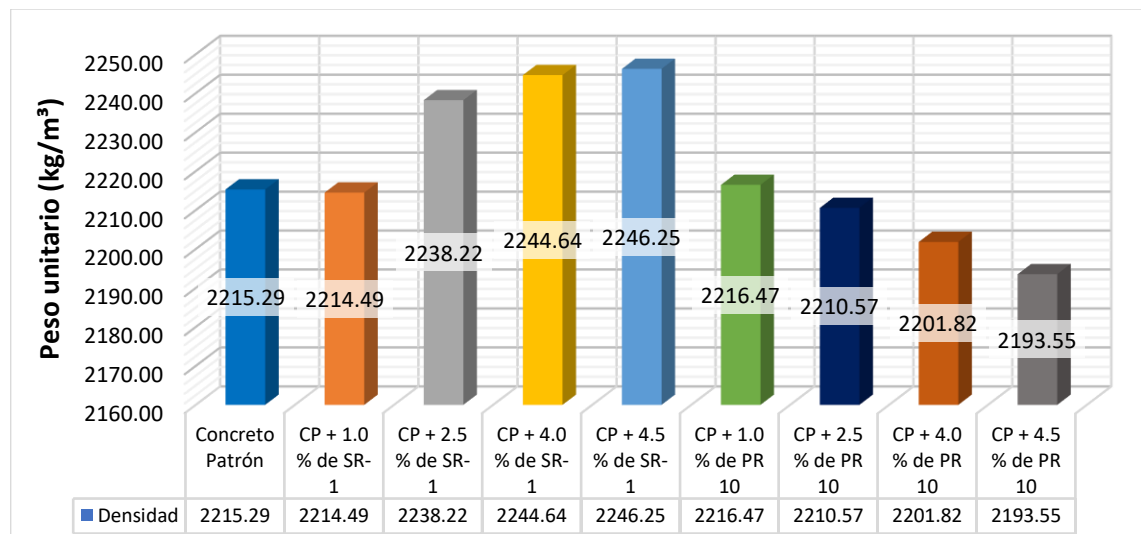
Resultados del peso unitario del concreto

Grupo Experimental	Peso unitario (kg/m ³)			promedio (kg/m ³)	Variación porcentual
	M-1	M-2	M-3		
Concreto Patrón	2,215.53	2,213.40	2,216.95	2,215.29	0.00%
CP + 1.0% de SR-1	2,214.11	2,211.98	2,217.37	2,214.49	-0.04%
CP + 2.5% de SR-1	2,238.93	2,240.34	2,235.38	2,238.22	1.03%
CP + 4.0% de SR-1	2,244.60	2,243.18	2,246.16	2,244.64	1.32%
CP + 4.5% de SR-1	2,246.02	2,244.60	2,248.14	2,246.25	1.40%
CP + 1.0% de PR 10	2,216.95	2,213.40	2,219.07	2,216.47	0.05%
CP + 2.5% de PR 10	2,209.86	2,214.11	2,207.73	2,210.57	-0.21%
CP + 4.0% de PR 10	2,202.06	2,199.93	2,203.48	2,201.82	-0.61%
CP + 4.5% de PR 10	2,197.81	2,187.88	2,194.97	2,193.55	-0.98%

Nota: Elaboración propia

Figura 31

Pesos unitarios del concreto patrón y los grupos experimentales



Nota: Elaboración propia.

La Figura 31 muestra la comparación entre el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10, donde se evidencia que el concreto patrón tiene un peso unitario de 2215.29 kg/m³. Para los grupos experimentales con el aditivo acelerante SikaRapid-1, en la dosificación de 1.0% el peso unitario del concreto disminuye en 0.04%; mientras que para las dosificaciones de 2.5%, 4.0% y 4.5%, el peso unitario del concreto aumenta en



1.03%, 1.32% y 1.40% respectivamente con referencia al concreto patrón; esto indica que el aditivo acelerante SikaRapid-1 ayuda a mejorar la compactación del concreto reduciendo el aire atrapado y, por tanto, tener un concreto más denso. Para los grupos experimentales con aditivo acelerante Per Rapid 10, en la dosificación de 1.0% el peso unitario del concreto aumenta en 0.05%; mientras que para los porcentajes de 2.5%, 4.0% y 4.5%, el peso unitario del concreto disminuye en 0.21%, 0.61% y 0.98% respectivamente con referencia al concreto patrón.

4.1.4. Resultados del tiempo de fraguado

Este ensayo se realizó en pastas de cemento, con una muestra sin ninguna adición de aditivo acelerante y cuatro muestras para el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%; así mismo, cuatro muestras para el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%.

El criterio para considerar que el cemento alcanzó el fraguado se estableció según como indica la norma NTP 334.006 (2019) o equivalente a la norma internacional ASTM C191. Se definió como fraguado inicial el momento en que la aguja Vicat de 1 mm² penetró 25 mm desde la base de la muestra de pasta en un tiempo de 30 segundos, tal como se describe en la etapa de procedimiento de ensayo en el ítem 3.9.4.2. Para considerar el tiempo de fraguado final se consideró cuando la aguja Vicat ya no penetra o no deja ninguna impresión visible sobre la superficie de la muestra.

Tabla 20*Penetración con aguja Vicat en función del tiempo*

Lect. N°	Tiempo (min.)	Patrón (mm)	SR-1	SR-1	SR-1	SR-1	PR 10	PR 10	PR 10	PR 10
			1%	2.5%	4%	4.5%	1%	2.5%	4%	4.5%
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	30	40.00	40.00	38.50	38.00	37.00	39.00	37.00	39.00	38.00
2	45	40.00	40.00	38.00	37.00	36.00	38.50	36.00	38.00	37.50
3	60	40.00	39.00	37.50	34.50	33.00	38.00	34.00	36.50	37.50
4	75	40.00	35.50	36.00	33.50	32.00	34.50	32.00	36.00	37.00
5	90	40.00	35.00	35.00	32.00	31.00	31.00	30.00	35.50	36.50
6	105	40.00	33.50	34.50	29.00	30.50	29.00	28.00	34.00	36.50
7	120	40.00	33.00	34.00	27.50	29.00	26.50	26.00	33.50	33.00
8	135	40.00	32.50	33.50	27.00	27.50	26.00	24.00	33.50	33.00
9	150	40.00	31.00	33.20	26.50	26.00	26.00	18.00	32.50	32.00
10	165	40.00	30.50	33.00	26.00	24.50	25.50	13.00	30.00	31.00
11	180	40.00	30.20	32.00	24.50	24.00	25.00	12.00	29.00	30.00
12	195	40.00	29.50	29.00	23.00	23.00	22.00	10.00	28.00	28.00
13	210	40.00	29.00	26.00	20.50	22.00	15.50	7.50	27.00	25.50
14	225	38.50	25.50	24.00	19.00	21.50	13.00	2.50	22.00	23.00
15	240	38.00	24.50	22.00	16.00	17.50	8.50	2.00	18.00	21.00
16	255	37.50	16.00	17.00	7.00	10.00	6.00	1.50	10.00	19.00
17	270	35.50	8.00	12.00	4.00	7.50	3.00	1.00	5.50	18.00
18	285	35.00	4.50	7.00	2.00	3.00	2.00	0.50	2.50	15.00
19	300	34.00	2.50	4.50	1.50	1.50	2.00	0.50	2.00	13.00
20	315	31.00	2.00	2.50	1.00	0.50	1.50	0.00	0.50	11.00
21	330	30.00	1.50	0.50	0.50	0.00	1.50		1.00	3.50
22	345	28.50	0.50	0.00	0.00		0.50		0.50	1.50
23	360	27.00	0.30				0.50		0.00	0.50
24	375	20.00	0.00				0.00			0.00
25	390	13.00								
26	405	5.00								
27	420	3.50								
28	435	2.50								
29	450	2.00								
30	465	1.00								
31	480	0.50								
32	495	0.00								

Nota: Ensayo realizado con cemento tipo HS y con aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10. El ensayo se realizó a una temperatura aproximada de 13.7 °C. Dado que la norma NTP 334.006 establece condiciones estándar de 23 °C ± 2 °C, los tiempos de fraguado obtenidos no deben ser comparados directamente con los límites establecidos en la NTP 334.082 (cementos hidráulicos, requisitos de desempeño). El objetivo fue evaluar el comportamiento del cemento en condiciones de temperatura ambiente.

En la Tabla 20 se muestran los registros de penetración vs el tiempo y en la Tabla 21 se muestra el resumen de los tiempos de fraguado inicial y tiempos de fraguado final.

Tabla 21

Tiempo de fraguado inicial y final del cemento con aditivos acelerantes

Muestra	Fraguado inicial (min.)	Variación porcentual	Fraguado final (min.)	Variación porcentual
Patrón	364	0.00%	495	0.00%
SR-1 en 1.0%	233	-35.99%	375	-24.24%
SR-1 en 2.5%	218	-40.11%	345	-30.30%
SR-1 en 4.0%	175	-51.92%	345	-30.30%
SR-1 en 4.5%	160	-56.04%	330	-33.33%
PR 10 en 1.0%	180	-50.55%	375	-24.24%
PR 10 en 2.5%	128	-64.84%	315	-36.36%
PR 10 en 4.0%	216	-40.66%	360	-27.27%
PR 10 en 4.5%	213	-41.48%	375	-24.24%

Nota: Elaboración propia.

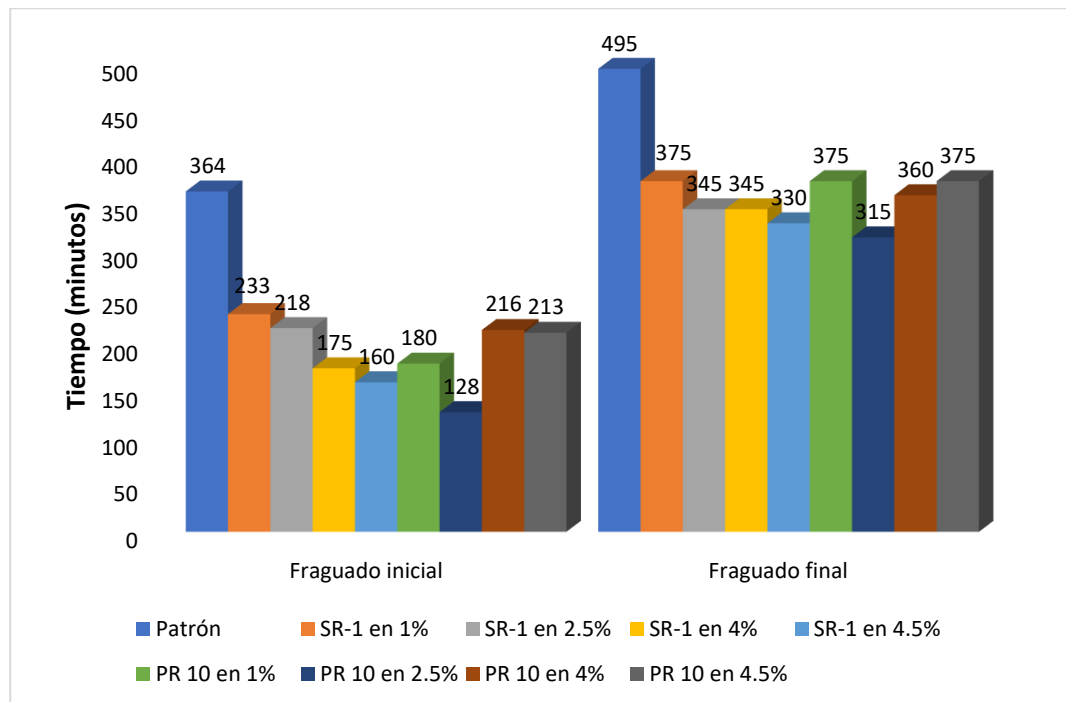
La Figura 32 muestra la comparación de resultados; donde, el cemento sin aditivo acelerante comienza con el fraguado inicial a los 364 minutos; mientras que con el aditivo SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, el tiempo de fraguado inicial se redujo en 35.99%, 40.11%, 51.92% y 56.04% respectivamente con referencia a la muestra de patrón. Para las muestras con aditivo Per Rapid 10 el tiempo de fraguado inicial se reduce en 50.55%, 64.84%, 40.66% y 41.48% respectivamente con referencia a la muestra de patrón.

Para el tiempo de fraguado final, el cemento sin aditivo acelerante finaliza el fraguado a los 495 minutos; mientras que, para el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, el tiempo de fraguado final se redujo en 24.24%, 30.30%, 30.30% y 33.33% respectivamente con referencia a la muestra de control. Para las muestras con aditivo acelerante Per Rapid 10 el

tiempo de fraguado final se redujo en 24.24%, 36.36%, 27.27% y 24.24% respectivamente con referencia a la muestra de control.

Figura 32

Comparación del tiempo de fraguado inicial y final



Nota: Elaboración propia.

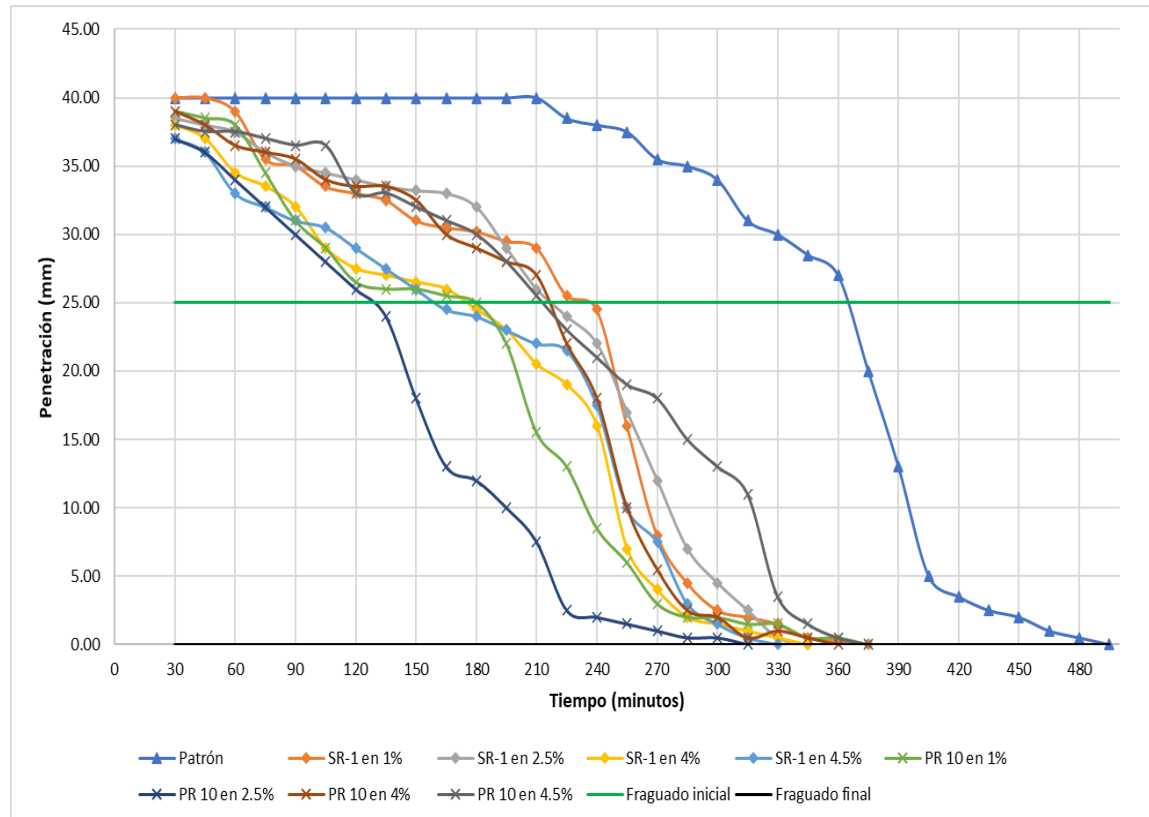
De acuerdo con lo establecido por la norma NTP 334.088 (2021), los aditivos acelerantes de tipo C y tipo E deben reducir el tiempo de fraguado inicial por lo menos 1 hora antes y no más de 3.5 horas antes, y el fraguado final por lo menos 1 hora antes respecto a la muestra patrón. El cemento sin aditivo acelerante comienza el fraguado inicial a los 364 minutos; un periodo de tiempo que está dentro de lo establecido por la NTP 334.082, que indica que el fraguado inicial del cemento tipo HS puede variar de 45 a 420 minutos.

Así mismo, con la adición de los aditivos acelerantes, el Per Rapid 10 en porcentaje de 2.5% logró una reducción significativa registrando el tiempo de fraguado inicial a los 128 minutos y termina el fraguado a los 315 minutos. Para

el aditivo acelerante SikaRapid-1, el porcentaje de 4.5% reduce más el tiempo de fraguado inicial, comenzando a los 160 minutos y fraguando completamente a los 330 minutos.

Figura 33

Penetración vs Tiempo para la muestra patrón y aditivos acelerantes



Nota: Elaboración propia.

Según la Figura 33 se observa la gráfica de penetración vs el tiempo en minutos y según la norma NTP 334.088 (2021), el tiempo de fraguado inicial no debe ser antes de 3.5 horas del tiempo de fraguado inicial de la muestra patrón, es decir antes de los 154 minutos y por lo menos reducir 1 hora el tiempo de fraguado final, es decir por lo menos a los 435 minutos. De este criterio se muestra que la mayoría de los porcentajes utilizados cumplen para el tiempo de fraguado inicial y final a excepción del porcentaje de 2.5% del aditivo acelerante Per Rapid 10 para el tiempo de fraguado inicial.

4.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

El ensayo de resistencia a compresión para el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes de resistencia SikaRapid-1 y Per Rapid 10 para un diseño de concreto $f'c=210$ kg/cm² se realizó conforme lo establece la norma NTP 339.034 (2021), evaluando la resistencia para edades de 3, 5, 7 y 28 días y empleando dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante respecto al peso del cemento. Los resultados de resistencia a compresión se muestran desde la Tabla 22 a la Tabla 25 agrupados por cada edad de ensayo.

4.2.1. Resistencia a compresión a los 3 días

La Tabla 22 muestra los resultados de resistencia a compresión a los 3 días; donde, el concreto patrón obtuvo una resistencia promedio de 63.29 kg/cm².

Tabla 22

Resultados de resistencia a compresión del concreto a los 3 días

Grupo experimental	Edad (días)	M-01 (kg/cm ²)	M-02 (kg/cm ²)	M-03 (kg/cm ²)	F'c Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto Patrón	3	62.93	61.51	65.44	63.29	0.00%
CP+1.0% de SR-1	3	82.93	80.40	83.61	82.31	30.05%
CP+2.5% de SR-1	3	93.27	97.65	96.57	95.83	51.41%
CP+4.0% de SR-1	3	115.94	115.20	116.30	115.81	82.98%
CP+4.5% de SR-1	3	148.44	146.56	141.83	145.61	130.06%
CP+1.0% de PR 10	3	59.08	59.20	57.13	58.47	-7.62%
CP+2.5% de PR 10	3	50.06	46.68	50.87	49.20	-22.26%
CP+4.0% de PR 10	3	53.21	54.71	55.26	54.39	-14.06%
CP+4.5% de PR 10	3	69.88	68.64	69.28	69.27	9.44%

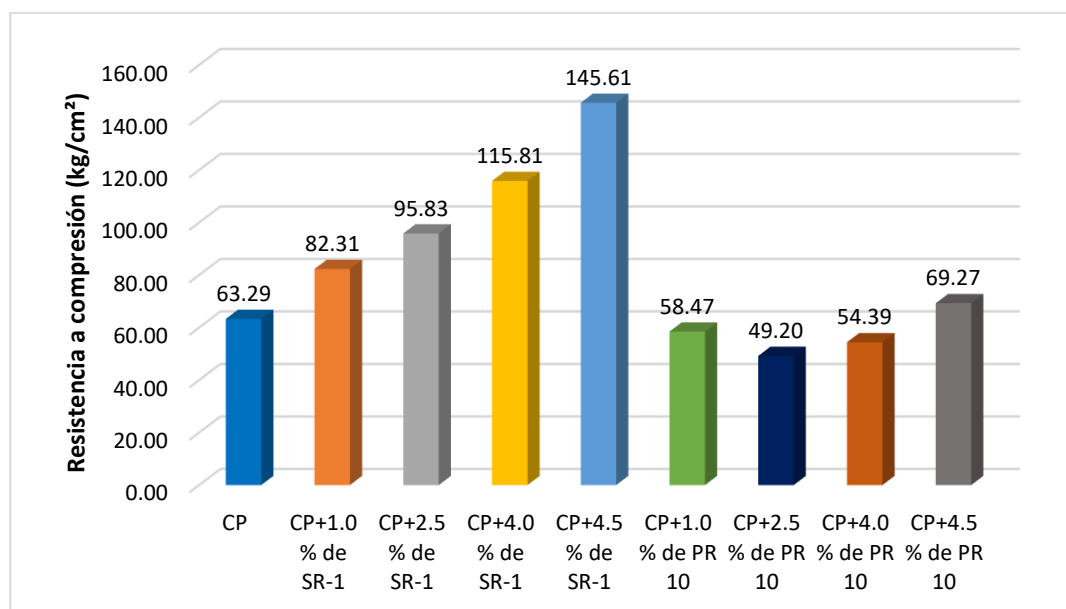
Nota: Elaboración propia

Para el concreto con el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% las resistencias promedio que alcanzaron fueron de 82.31 kg/cm², 95.83 kg/cm², 115.81 kg/cm² y 145.61 kg/cm² respectivamente,

donde las resistencias sobrepasando al concreto patrón en todas las dosificaciones de aditivo acelerante. Para el concreto con el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% las resistencias promedio que alcanzaron fueron de 58.47 kg/cm², 49.20 kg/cm², 54.39 kg/cm² y 69.27 kg/cm² respectivamente, donde las resistencias son inferiores al concreto patrón en los porcentajes de 1.0%, 2.5% y 4.0% de aditivo acelerante (ver la Figura 34).

Figura 34

Resistencia compresión del concreto a los 3 días



Nota: Elaboración propia.

4.2.2. Resistencia a compresión a los 5 días

La Tabla 23 muestra los resultados de resistencia a compresión a los 5 días; donde, el concreto patrón alcanzó una resistencia promedio de 112.79 kg/cm². El concreto con el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, obtuvo resistencias de 145.18 kg/cm², 156.87 kg/cm², 144.42 kg/cm² y 162.75 kg/cm² respectivamente, sobrepasando la resistencia del concreto patrón. Para el concreto con el aditivo acelerante Per Rapid 10 en porcentajes de 1.0%,

2.5%, 4.0% y 4.5%, las resistencias que alcanzaron fueron de 99.82 kg/cm², 79.00 kg/cm², 128.21 kg/cm² y 110.48 kg/cm² respectivamente, donde las resistencias son inferiores al concreto patrón en los porcentajes de 1.0%, 2.5% y 4.5% de aditivo acelerante (ver la Figura 35).

Tabla 23

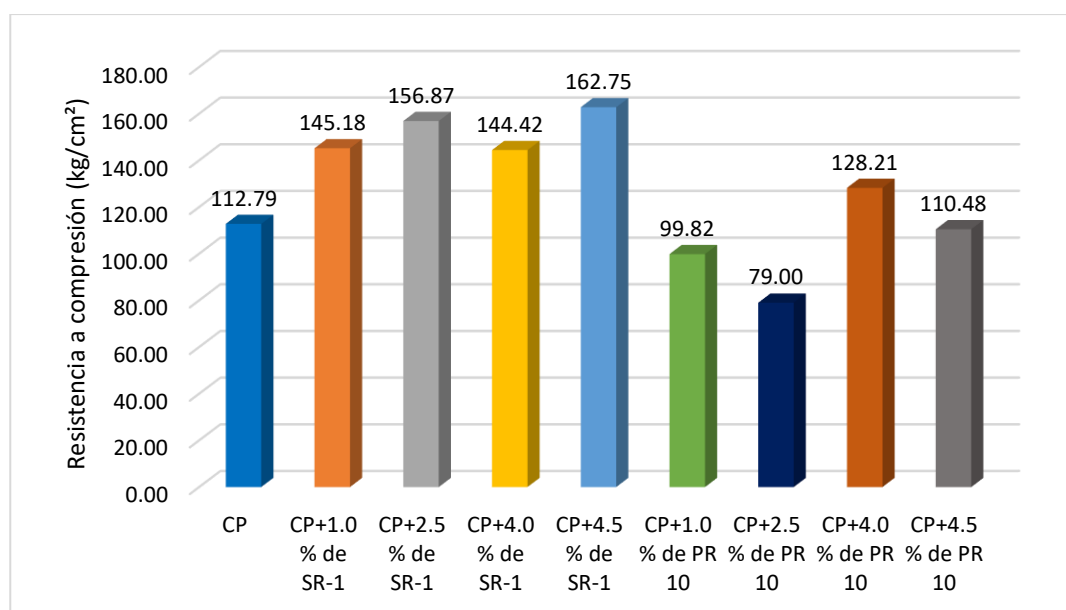
Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 5 días

Grupo experimental	Edad (días)	M-01 (kg/cm ²)	M-02 (kg/cm ²)	M-03 (kg/cm ²)	F'c Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto Patrón	5	114.16	109.48	114.72	112.79	0.00%
CP+1.0% de SR-1	5	148.14	144.72	142.69	145.18	28.72%
CP+2.5% de SR-1	5	154.99	157.91	157.70	156.87	39.08%
CP+4.0% de SR-1	5	143.32	150.05	139.89	144.42	28.05%
CP+4.5% de SR-1	5	161.94	166.07	160.23	162.75	44.30%
CP+1.0% de PR 10	5	98.63	99.80	101.02	99.82	-11.50%
CP+2.5% de PR 10	5	77.23	82.91	76.86	79.00	-29.96%
CP+4.0% de PR 10	5	125.35	129.80	129.49	128.21	13.68%
CP+4.5% de PR 10	5	112.51	108.81	110.13	110.48	-2.04%

Nota: Elaboración propia.

Figura 35

Resistencia compresión del concreto a los 5 días



Nota: Elaboración propia.

4.2.3. Resistencia a compresión a los 7 días

La Tabla 24 muestra los resultados de resistencia a compresión a los 7 días; donde, el concreto patrón alcanzó una resistencia promedio de 134.18 kg/cm².

Tabla 24

Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 7 días

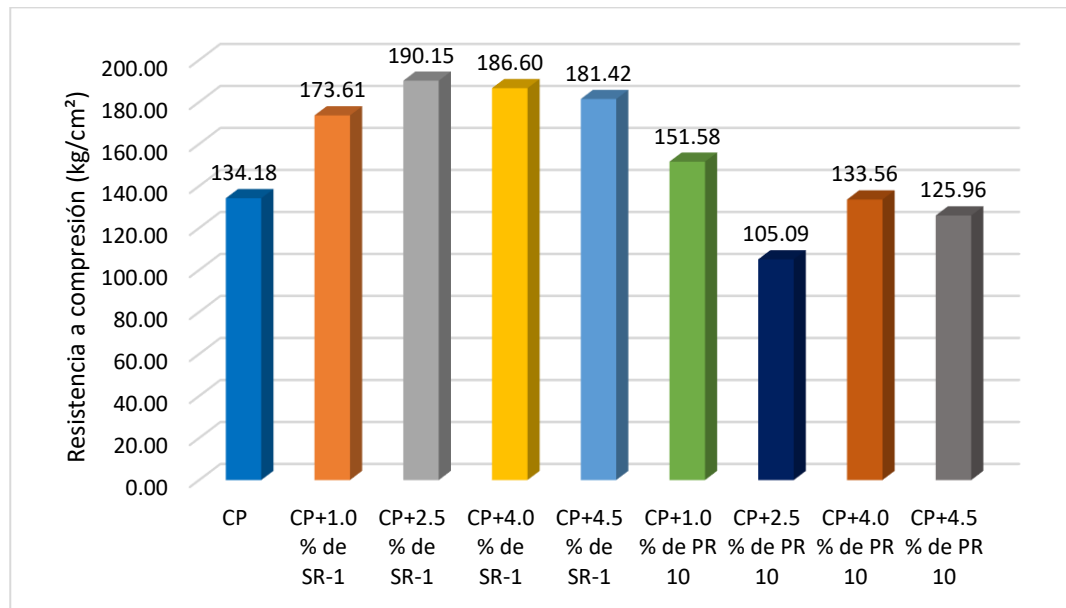
Grupo experimental	Edad (días)	M-01 (kg/cm ²)	M-02 (kg/cm ²)	M-03 (kg/cm ²)	F'c Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto Patrón	7	138.13	129.33	135.07	134.18	0.00%
CP+1.0% de SR-1	7	171.27	175.16	174.40	173.61	29.39%
CP+2.5% de SR-1	7	189.24	187.45	193.76	190.15	41.72%
CP+4.0% de SR-1	7	194.26	181.01	184.52	186.60	39.07%
CP+4.5% de SR-1	7	186.01	178.94	179.32	181.42	35.21%
CP+1.0% de PR 10	7	153.71	149.22	151.81	151.58	12.97%
CP+2.5% de PR 10	7	104.35	103.02	107.89	105.09	-21.68%
CP+4.0% de PR 10	7	133.77	134.42	132.49	133.56	-0.46%
CP+4.5% de PR 10	7	127.90	122.76	127.21	125.96	-6.13%

Nota: Elaboración propia.

Para el concreto con el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, las resistencias promedio que alcanzaron fueron de 173.61 kg/cm², 190.15 kg/cm², 186.60 kg/cm² y 181.42 kg/cm² respectivamente, sobrepasando la resistencia del concreto patrón. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% las resistencias que alcanzaron fueron de 151.58 kg/cm², 105.09 kg/cm², 133.56 kg/cm², 125.96 kg/cm² respectivamente; donde, las resistencias a compresión son inferiores al concreto patrón en los porcentajes de 2.5% y 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante a excepción del porcentaje de 1.0% que sobrepasó la resistencia del concreto patrón (ver la Figura 36).

Figura 36

Resistencia compresión del concreto a los 7 días



Nota: Elaboración propia.

4.2.4. Resistencia a compresión a los 28 días

La Tabla 25 muestra el resultado de la resistencia a compresión a los 28 días; donde, el concreto patrón obtuvo una resistencia promedio de 227.50 kg/cm².

Tabla 25

Resultados de la resistencia a compresión del concreto a los 28 días

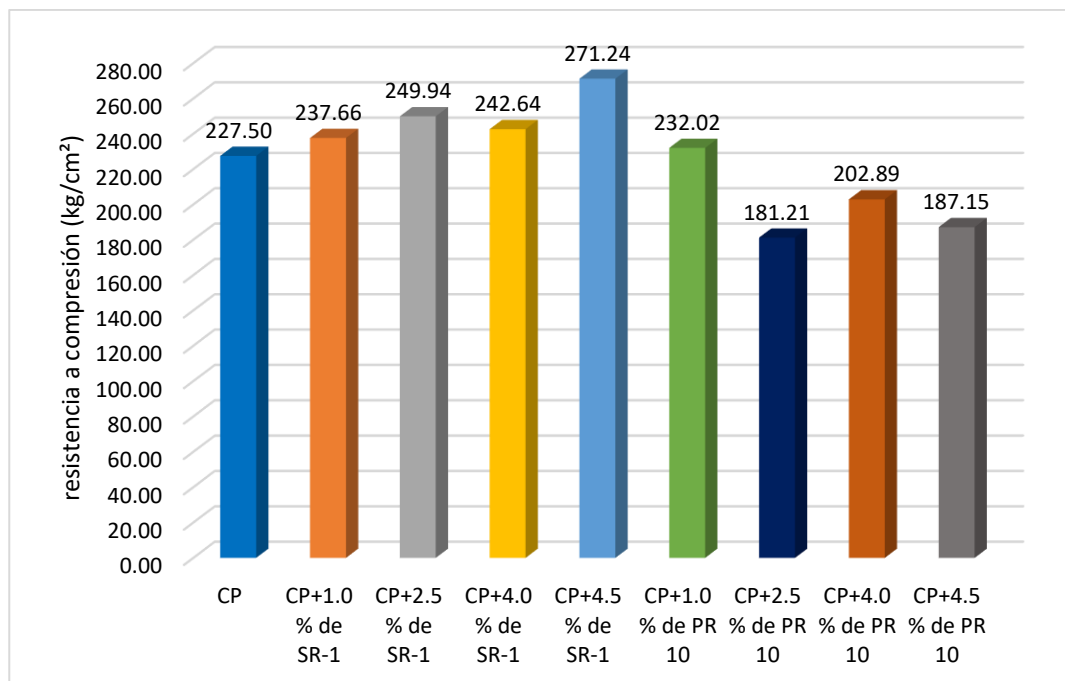
Grupo experimental	Edad (días)	M-01 (kg/cm ²)	M-02 (kg/cm ²)	M-03 (kg/cm ²)	F'c Promedio (kg/cm ²)	Variación porcentual
Concreto Patrón	28	231.04	221.32	230.15	227.50	0.00%
CP+1.0% de SR-1	28	236.87	239.02	237.09	237.66	4.46%
CP+2.5% de SR-1	28	247.27	246.71	255.83	249.94	9.86%
CP+4.0% de SR-1	28	240.60	240.05	247.26	242.64	6.65%
CP+4.5% de SR-1	28	273.00	280.07	260.64	271.24	19.22%
CP+1.0% de PR 10	28	229.52	235.56	230.98	232.02	1.99%
CP+2.5% de PR 10	28	184.43	179.87	179.34	181.21	-20.35%
CP+4.0% de PR 10	28	199.57	200.34	208.77	202.89	-10.82%
CP+4.5% de PR 10	28	187.35	183.51	190.58	187.15	-17.74%

Nota: Elaboración propia.

Para el concreto con el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, las resistencias que alcanzaron fueron de 237.66 kg/cm², 249.94 kg/cm², 242.64 kg/cm² y 271.24 kg/cm² respectivamente, donde las resistencias sobrepasaron al concreto patrón en todos los porcentajes de aditivo acelerante. Para el concreto con el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% las resistencias que alcanzaron fueron de 232.02 kg/cm², 181.21 kg/cm², 202.89 kg/cm² y 187.15 kg/cm² respectivamente, donde las resistencias son inferiores al concreto patrón en las dosis utilizadas de 2.5% y 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante a excepción del porcentaje de 1.0% que sobrepasó la resistencia del concreto patrón (ver la Figura 37).

Figura 37

Resistencia compresión del concreto a los 28 días



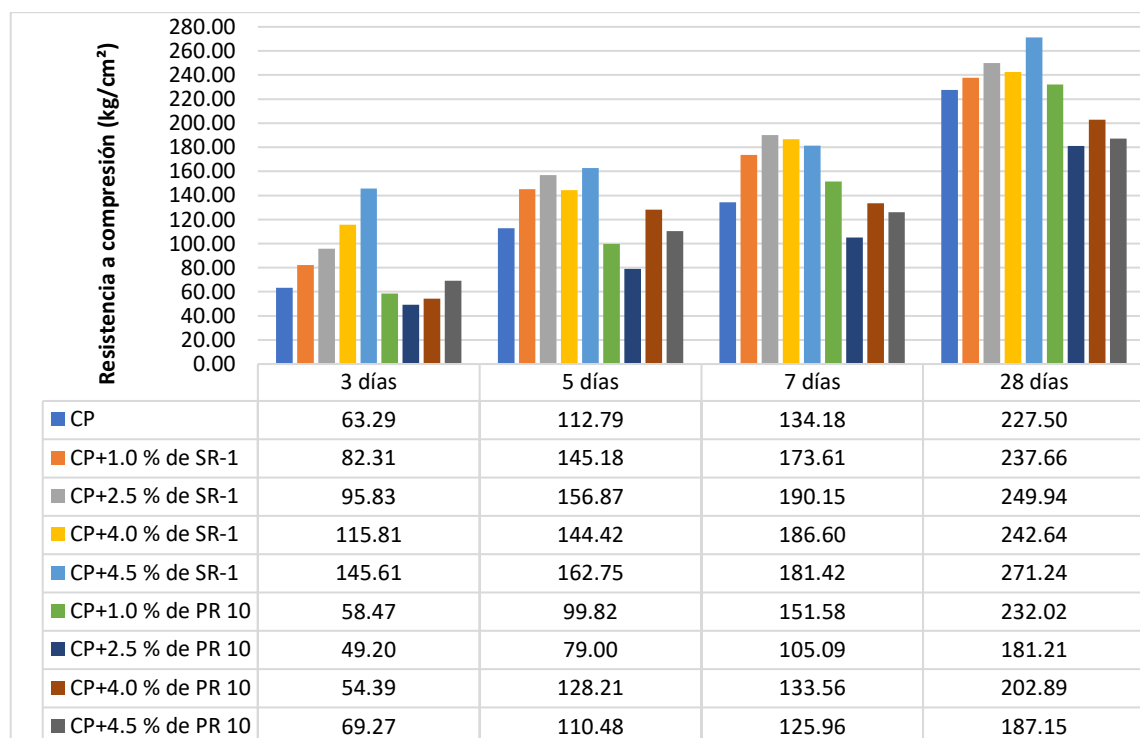
Nota: Elaboración propia.

4.2.5. Resumen de la resistencia a compresión del concreto

El resumen de los resultados de la resistencia a compresión alcanzadas en las edades de 3, 5, 7 y 28 días para el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, se muestra en la Figura 38. Se observa que los aditivos acelerantes SikaRapid-1 tiene un efecto mayor en el desarrollo de resistencias iniciales y además superando las resistencias al concreto patrón a 28 días, siendo más la dosis de 4.5% de aditivo que tuvo mayor efecto para dicha edad. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10 las resistencias iniciales se desarrollan más lentamente, a excepción del porcentaje en 1.0% de aditivo que a edades de 7 y 28 superan a la resistencia del concreto patrón; siendo este porcentaje el más favorable.

Figura 38

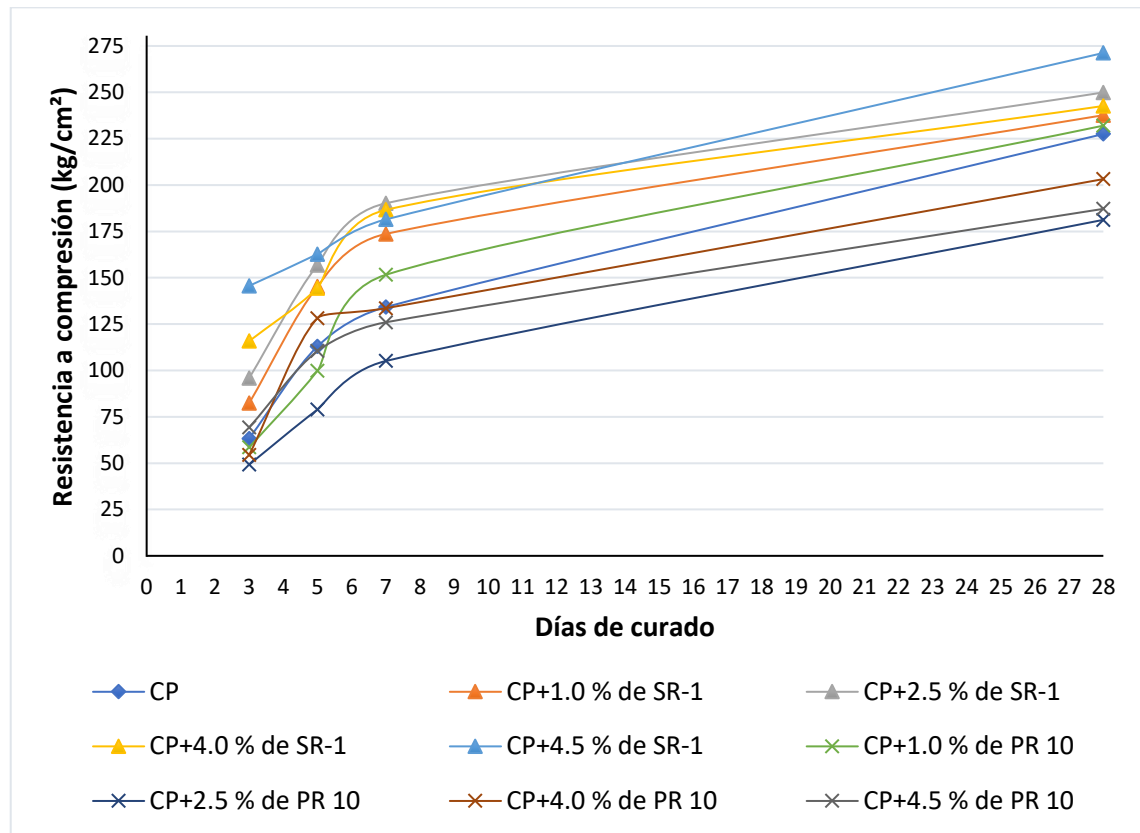
Resumen de resistencia a compresión del concreto a 3, 5, 7 y 28 días



Nota: Elaboración propia.

Figura 39

Curva de desarrollo de resistencia a compresión del concreto



Nota: Elaboración propia

La Figura 39 muestra la curva de desarrollo de la resistencia a compresión del concreto, donde se observa que los aditivos SikaRapid-1 ayudan en la ganancia más rápida en los primeros 7 días respecto al concreto patrón en todas las dosificaciones, siendo el más óptimo la dosis de 2.5% llegando a una resistencia de 190.15 kg/cm² a los 7 días; mientras que el aditivo acelerante Per Rapid 10 no ayuda mucho en el desarrollo de las resistencias en los primeros 7 días a excepción de la dosis de 1.0% que supera al concreto patrón y llegando a una resistencia de 151.58 kg/cm². Para la edad de 28 días, los concretos con aditivo acelerante SikaRapid-1 superan al concreto patrón para todas las dosificaciones utilizadas; en cambio el aditivo acelerante Per Rapid 10, solo el porcentaje de 1.0% supera al concreto patrón.

4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTOS

El costo de producción del concreto por 1 m³, se realizó mediante el análisis de precios unitarios (APU). Para el precio de mano de obra se tomó como referencia la tabla salarial de régimen de construcción civil vigente para el periodo 2024-2025. El precio de los materiales utilizados para determinar el precio del concreto proviene del costo de materiales en el mercado local de Puno. Ver el Anexo 13 (precio de los materiales).

Los resultados del APU para el concreto patrón y concreto con aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en dosis de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% se muestran en el Anexo 10 (resultados del costo del concreto). Para el concreto patrón, y dosificaciones con mejor desempeño en la resistencia compresión como es el 2.5% de aditivo SikaRapid-1 y 1.0% de aditivo Per Rapid 10, los costos se muestran en la Tabla 26, Tabla 27 y Tabla 28 respectivamente. El precio de mano de obra, materiales y equipos fueron tomados incluyendo el precio del impuesto general a las ventas (IGV). Para más detalle con respecto al cálculo de cantidades de mano de obra, materiales y equipos se muestran en el Anexo 14 (precio hora hombre 2024-2025 y otros).

Tabla 26

Análisis de precios unitarios del concreto patrón $f'c=210$ kg/cm²

Rendimiento	20	m ³ /día	Costo unitario		499.45
Descripción de recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial
Mano de obra					
Operario	hh	2	0.8000	33.49	26.79
Oficial	hh	2	0.8000	26.34	21.07
Operador de equipo liviano	hh	2	0.8000	26.34	21.07
Peón	hh	10	4.0000	23.85	95.40
					164.34
Materiales					
Cemento tipo HS	bls		7.884	28.10	221.54
Agregado grueso	m ³		0.709	43.33	30.72
Agregado fino	m ³		0.383	80.98	31.02



Rendimiento	20	m ³ /día		Costo unitario		499.45
Descripción de recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	
Agua	m ³		0.210	7.00	1.47	
						284.75
Equipos						
Mezcladora de concreto 11p ³	hm	1	0.400	15.00	6.00	
Vibrador de concreto 4HP	hm	1	0.400	8.60	3.44	
Winche eléctrico de 3.6 HP, dos baldes	hm	1	0.400	90.00	36.00	
Herramientas Manuales	%mo		3.00	164.34	4.93	
						50.37

Nota: Elaboración de propia.

Tabla 27

Análisis de precios unitario del concreto CP + 2.5% de SR-1

Rendimiento	20	m ³ /día		Costo unitario		654.83
Descripción de recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	
Mano de obra						
Operario	hh	2	0.8000	33.49	26.79	
Oficial	hh	2	0.8000	26.34	21.07	
Operador de equipo liviano	hh	2	0.8000	26.34	21.07	
Peón	hh	10	4.0000	23.85	95.40	
						164.34
Materiales						
Cemento tipo HS	bls		7.884	28.10	221.54	
Agregado grueso	m ³		0.709	43.33	30.72	
Agregado fino	m ³		0.383	80.98	31.02	
Agua	m ³		0.203	7.00	1.42	
Aditivo Sika Rapid-1 en 2.5 %	lt		6.6	23.55	155.43	
						440.13
Equipos						
Mezcladora de concreto 11p ³	hm	1	0.400	15.00	6.00	
Vibrador de concreto 4HP	hm	1	0.400	8.60	3.44	
Winche eléctrico de 3.6 HP, dos baldes	hm	1	0.400	90.00	36.00	
Herramientas Manuales	%mo		3.00	164.34	4.93	
						50.37

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 26 se muestra el APU para el concreto patrón; donde el precio por 1 m³ de concreto es de 499.45 soles que incluyen el IGV. El costo de mano de obra es de

164.34 soles, lo que representa el 32.90%. El costo de materiales es de 284.75 soles, lo que representa el 57.01% y finalmente el costo de los equipos es de 50.37 soles, lo que representan el 10.09% para un concreto de diseño $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

La Tabla 27 se muestra el APU para el concreto con aditivo acelerante SikaRapid-1 en porcentaje de 2.5%; donde el precio por 1 m³ de concreto es de 654.83 soles que incluyen el IGV. El costo de mano de obra y equipos es de 164.34 y 50.37 soles respectivamente y el costo de materiales es de 440.13 soles, lo que representa un 67.21%. El incremento del costo del concreto con 2.5% de aditivo acelerante SikaRapid-1 tiene un incremento en 31.11% respecto al concreto patrón.

Tabla 28

Análisis de precios unitarios del concreto CP + 1.0 % de PR 10

Rendimiento	20	m ³ /día	Costo unitario			518.11
Descripción de recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	P.U.	Parcial	
Mano de obra						
Operario	hh	2	0.8000	33.49	26.79	
Oficial	hh	2	0.8000	26.34	21.07	
Operador de equipo liviano	hh	2	0.8000	26.34	21.07	
Peón	hh	10	4.0000	23.85	95.40	
					164.34	
Materiales						
Cemento tipo HS	bls		7.884	28.10	221.54	
Agregado grueso	m ³		0.709	43.33	30.72	
Agregado fino	m ³		0.383	80.98	31.02	
Agua	m ³		0.207	7.00	1.45	
Aditivo Per Rapid 10 en 1.0 %	lt		2.62	7.13	18.68	
					303.41	
Equipos						
Mezcladora de concreto 11p ³	hm	1	0.400	15.00	6.00	
Vibrador de concreto 4HP	hm	1	0.400	8.60	3.44	
Winche eléctrico de 3.6 HP, dos baldes	hm	1	0.400	90.00	36.00	
Herramientas Manuales	%mo		3	164.34	4.93	
					50.37	

Nota: Elaboración propia.

En la Tabla 28 se muestra el APU para el concreto con aditivo acelerante Per Rapid 10 en porcentaje de 1.0%; donde el precio por 1 m³ de concreto es de 518.11 soles que incluyen el IGV. El costo de mano de obra y equipos es de 164.34 y 50.37 soles respectivamente, el cual se mantiene al precio del concreto patrón. El costo de materiales es de 303.41 soles, lo que representa un 58.56%. El incremento del costo del concreto con 1.0% de aditivo acelerante Per Rapid 10 tiene un incremento en 3.74% respecto al concreto patrón.

4.3.1. Resumen de costos

La Tabla 29 muestra el resumen de los costos por metro cúbico de concreto elaborado con diferentes porcentajes de aditivo acelerante SikaRapid-1 y Per Rapid 10.

Tabla 29

Resumen de costos por 1 m³ del concreto patrón y con aditivos

Descripción	Costo de concreto (S/m ³)	f'c (kg/cm ²) a los 28 días	Variación porcentual del costo
Concreto patrón	499.45	227.50	0.00%
CP+1.0 % de SR-1	561.60	237.66	12.44%
CP+2.5 % de SR-1	654.83	249.94	31.11%
CP+4.0 % de SR-1	747.83	242.64	49.73%
CP+4.5 % de SR-1	778.90	271.24	55.95%
CP+1.0 % de PR 10	518.11	232.02	3.74%
CP+2.5 % de PR 10	546.03	181.21	9.33%
CP+4.0 % de PR 10	574.03	202.89	14.93%
CP+4.5 % de PR 10	583.36	187.15	16.80%

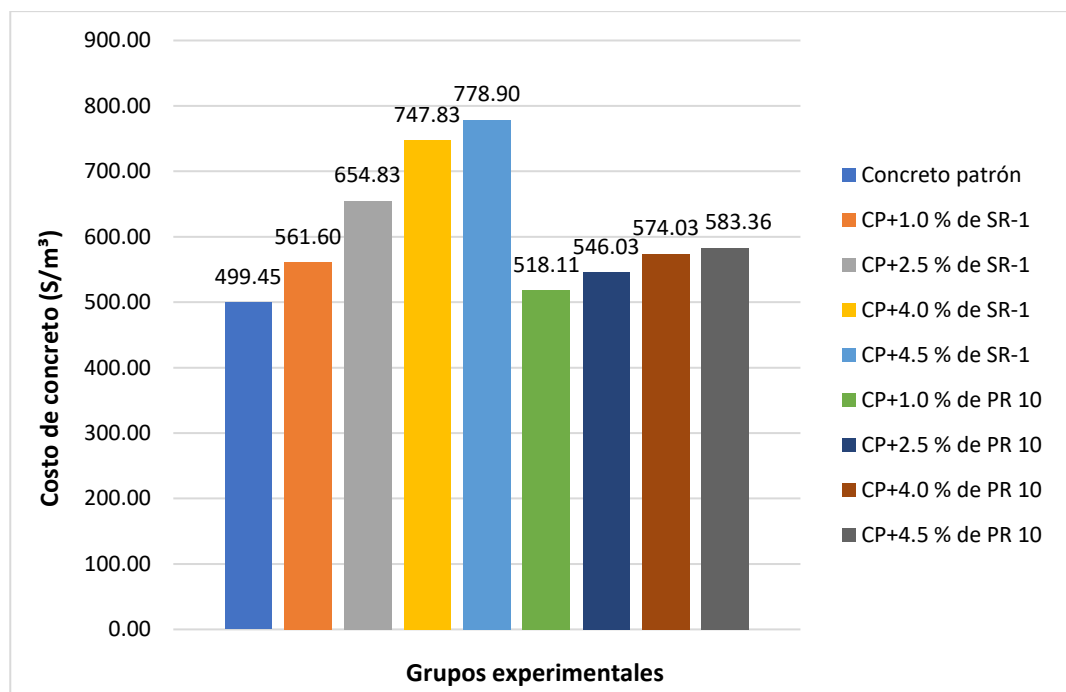
Nota: Elaboración propia.

El costo por un metro cúbico de concreto es de S/ 499.45. Para los grupos experimentales con aditivo acelerante SikaRapid-1 para las dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, los costos aumentan en 12.44%, 31.11%, 49.73% y 55.95% respectivamente en comparación con el costo del concreto patrón; este

aumento significativo es debido a que el aditivo SikaRapid-1 tiene un costo elevado a comparación de otros aditivos acelerantes en el mercado. Para los grupos experimentales con el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, los costos aumentan en 3.74%, 9.33%, 14.93% y 16.80% respectivamente con referencia al concreto patrón (ver la Figura 40).

Figura 40

Comparación de costos por 1 m³ del concreto



Nota: Elaboración propia

La dosificación de 2.5% de SikaRapid-1, pese a que representa un incremento de costo del 31.11%, es la más conveniente debido a que tuvo mayor desarrollo en la resistencia a compresión en los primeros 7 días de 190.15 kg/cm² y de 249.94 kg/cm² a los 28 días de ensayo dentro de las alternativas analizadas con SikaRapid-1. Para el per Rapid 10, el incremento es moderado, siendo la más eficiente en la dosis de 1.0% con incremento de 3.74% respecto al precio del

concreto patrón, alcanzando una resistencia a compresión a los 7 días de 151.58 kg/cm² y de 232.02 kg/cm² a los 28 días de ensayo.

4.4. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.4.1. Prueba de normalidad para el primer objetivo específico

Para verificar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, recomendada cuando el tamaño muestral es menor a 50 observaciones (Novales, 2010, citado en Flores & Flores, 2021). Conforme a Luzuriaga et al. (2023), si el valor de p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula y se asume que los datos siguen una distribución normal.

4.4.1.1. Para la temperatura del concreto

Para verificar que los datos de temperatura provienen de una distribución normal, se toman los datos de los resultados de la Tabla 17 (pág. 114) y se plantean las hipótesis como:

- **Hipótesis nula (H₀):** Los datos de temperatura del concreto provienen de una distribución normal.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Los datos de temperatura del concreto no provienen de una distribución normal.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: p-valor > 0.05 ; entonces aceptamos la H₀.
- Si: p-valor ≤ 0.05 ; entonces rechazamos la H₀ y aceptamos la H_a.

Según la Tabla 30 se evidencia que para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los valores de p-valor son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H_0) y se afirma que: Los datos de temperatura del concreto provienen de una distribución normal.

Tabla 30

Prueba de normalidad para la temperatura

Grupo experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (p-valor)
Concreto patrón	0.964	3	0.637
CP+1.0% de SR-1	1.000	3	1.000
CP+2.5% de SR-1	1.000	3	1.000
CP+4.0% de SR-1	1.000	3	1.000
CP+4.5% de SR-1	1.000	3	1.000
CP+1.0% de PR 10	0.807	3	0.132
CP+2.5% de PR 10	0.781	3	0.070
CP+4.0% de PR 10	0.893	3	0.363
CP+4.5% de PR 10	0.923	3	0.463

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.1.2. Para el asentamiento del concreto

Para verificar la normalidad de datos del asentamiento se toman los datos de los resultados mostrados en la Tabla 18 (pág. 116) y se plantean las hipótesis como siguen:

- **Hipótesis nula (H_0):** Los datos del asentamiento del concreto provienen de una distribución normal.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Los datos del asentamiento del concreto no provienen de una distribución normal.

La regla de decisión a tomar se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces aceptamos la H_0 .
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces rechazamos la H_0 y aceptamos la H_a .

La Tabla 31 muestra que con un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los valores de p -valor son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H_0) y se afirma que: Los datos del asentamiento del concreto provienen de una distribución normal.

Tabla 31

Prueba de normalidad para el asentamiento del concreto

Grupo experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (p-valor)
Concreto patrón	0.892	3	0.361
CP+1.0% de SR-1	0.894	3	0.367
CP+2.5% de SR-1	1.000	3	0.986
CP+4.0% de SR-1	0.986	3	0.776
CP+4.5% de SR-1	1.000	3	0.986
CP+1.0% de PR 10	0.965	3	0.640
CP+2.5% de PR 10	0.919	3	0.450
CP+4.0% de PR 10	0.986	3	0.776
CP+4.5% de PR 10	0.996	3	0.879

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.1.3. Para el peso unitario del concreto

Para verificar la normalidad de datos del peso unitario del concreto fresco se toman los resultados mostrados en la Tabla 19 (pág. 118) y con ello se plantean las hipótesis como siguen:

- **Hipótesis nula (Ho):** Los datos del peso unitario del concreto provienen de una distribución normal.
- **Hipótesis alterna (Ha):** Los datos del peso unitario del concreto no provienen de una distribución normal.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: p-valor > 0.05 ; entonces aceptamos la Ho.
- Si: p-valor ≤ 0.05 ; entonces rechazamos la Ho y aceptamos la Ha.

Según la Tabla 32, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los valores de p-valor son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (Ho) y se afirma que: Los datos del peso unitario del concreto provienen de una distribución normal.

Tabla 32

Prueba de normalidad para el peso unitario del concreto

Grupo Experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (P-valor)
Concreto patrón	0.987	3	0.780
CP+1.0% de SR-1	0.985	3	0.769
CP+2.5% de SR-1	0.942	3	0.537
CP+4.0% de SR-1	0.999	3	0.948
CP+4.5% de SR-1	0.987	3	0.780
CP+1.0% de PR 10	0.980	3	0.726
CP+2.5% de PR 10	0.964	3	0.637
CP+4.0% de PR 10	0.987	3	0.780
CP+4.5% de PR 10	0.942	3	0.537

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.2. Prueba de ANOVA para el primer objetivo específico

Como menciona Triola (2009), el análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para contrastar hipótesis sobre la igualdad de tres o más medias poblacionales, a partir del estudio de las varianzas muestrales.

4.4.2.1. Para la temperatura del concreto

Para la prueba de hipótesis, se emplea el estadístico paramétrico de ANOVA de un factor para determinar las diferencias significativas entre las medias de los grupos. Los datos utilizados para esta prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 17 (pág. 114) y se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula (H_0):** No existe diferencia significativa en las temperaturas del concreto para diferentes dosificaciones de aditivos acelerantes.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una temperatura del concreto significativamente diferente.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces se acepta la H_0 .
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces se acepta la H_a .

La Tabla 33 muestra el resultado de prueba de ANOVA de un factor para la temperatura del concreto patrón y para los grupos

experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es igual a 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) y se afirma que: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una temperatura del concreto significativamente diferente.

Tabla 33

Prueba de ANOVA Para la temperatura del concreto

Temperatura	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	74.059	8	9.257	32.759	0.000
Dentro de grupos	5.087	18	0.283		
Total	79.145	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.2.2. Para el asentamiento del concreto

Para realizar pruebas de hipótesis, se emplea el estadístico paramétrico de ANOVA de un factor para determinar las diferencias significativas entre las medias de los grupos. Los datos utilizados para esta prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 18 (pág. 116) y se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula (H_0):** No hay diferencia significativa entre los asentamientos del concreto para diferentes dosificaciones de aditivos acelerantes.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera un asentamiento del concreto significativamente diferente.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces se acepta la H_0 .
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces se acepta la H_a .

Tabla 34

Prueba de ANOVA para el asentamiento del concreto

Asentamiento	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	0.775	8	0.097	15.113	0.000
Dentro de grupos	0.115	18	0.006		
Total	0.890	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

La Tabla 34 muestra el resultado de la prueba de ANOVA del asentamiento del concreto patrón y grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a), donde se afirma que: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera un asentamiento del concreto significativamente diferente.

4.4.2.3. Para el peso unitario del concreto

La prueba de hipótesis, se realiza utilizando con el estadístico paramétrico de ANOVA de un factor para determinar las diferencias significativas entre las medias de los grupos. Los datos utilizados para esta

prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 19 (pág. 118) y se plantean las siguientes hipótesis:

- **Hipótesis nula (H₀):** No hay diferencia significativa entre los pesos unitarios del concreto para diferentes porcentajes de aditivos acelerantes.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera un peso unitario del concreto significativamente diferente.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces aceptamos la H₀.
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces se acepta la H_a.

Tabla 35

Prueba de ANOVA para el peso unitario del concreto

Peso unitario	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	8,436.043	8	1,054.505	134.484	0.000
Dentro de grupos	141.141	18	7.841		
Total	8,577.184	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

Según la Tabla 35, para el peso unitario del concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es 0.000; por consiguiente,



rechazamos la hipótesis nula (H_0) y se aceptamos la hipótesis alterna (H_a); por tanto, se afirma que: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera un peso unitario del concreto significativamente diferente.

4.4.3. Prueba de Tukey para el primer objetivo específico

Según Triola (2009), el ANOVA permite identificar diferencias globales entre medias poblacionales, pero no especifica entre qué grupos ocurren. Para ello se aplican pruebas de comparaciones múltiples, como la de Tukey, que evalúa pares de medias controlando el nivel de significancia. Esta prueba se realiza para la temperatura, asentamiento y peso unitario del concreto.

4.4.3.1. Para la temperatura del concreto

Los datos utilizados para esta prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 17 (pág. 114) y la Tabla 36 muestra los resultados de la prueba de post hoc de Tukey de comparaciones múltiples para la temperatura del concreto según la dosificación de aditivo utilizado de SikaRapid-1 y Per Rapid 10.

Se identificó cinco subconjuntos sin diferencias estadísticamente significativas dentro de cada grupo ($\alpha = 0.05$). La temperatura del concreto patrón se encuentra en los subconjuntos dos y tres. Para el grupo experimental con aditivo SikaRapid-1 se encuentran en los subconjuntos uno, dos y tres. Para los grupos experimentales con el aditivo Per Rapid 10 se encuentra en los subconjuntos tres, cuatro y cinco. El grupo experimental CP+4.5% de PR 10, presenta mayor temperatura a comparación de los otros grupos.

Tabla 36*Prueba de Post hoc de Tukey para la temperatura del concreto*

Grupo experimental	N	Temperatura				
		Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
CP+4.0% de SR-1	3	12.30				
CP+2.5% de SR-1	3	13.20	13.20			
CP+1.0% de SR-1	3		14.60	14.60		
Concreto patrón	3		14.67	14.67		
CP+4.5% de SR-1	3			14.80		
CP+1.0% de PR 10	3			15.97	15.97	
CP+2.5% de PR 10	3				16.33	
CP+4.0% de PR 10	3				16.60	16.60
CP+4.5% de PR 10	3					17.97
Sig.		0.518	0.064	0.098	0.860	0.098

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. Las temperaturas promedio del concreto están en unidades de °C.

4.4.3.2. Para el asentamiento del concreto

Los datos utilizados para esta prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 18 (pág. 116) y la Tabla 37 muestra el resultado de la prueba post hoc de Tukey para el asentamiento del concreto según la dosificación de aditivo utilizado de SikaRapid-1 y Per Rapid 10. Se identificaron cinco subconjuntos sin diferencias estadísticamente significativas dentro de cada grupo (para un $\alpha = 0.05$). El asentamiento del concreto patrón se encuentra en los subconjuntos tres y cuatro. El grupo experimental con aditivo SikaRapid-1 se encuentran en los subconjuntos uno, dos, tres y cuatro. Para los grupos experimentales con el aditivo Per Rapid 10 se encuentra en los subconjuntos desde el uno al cinco. El grupo experimental CP+4.5% de SR-1 disminuye más el asentamiento con referencia al Concreto patrón; así mismo, el grupo experimental CP+4.5% de PR 10 aumenta el asentamiento en mayor valor.

Tabla 37

Prueba de Post hoc de Tukey para el asentamiento del concreto

Grupo experimental	N	Asentamiento				
		Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
CP+4.5% de SR-1	3	3.268				
CP+4.0% de SR-1	3	3.300	3.300			
CP+2.5% de SR-1	3	3.386	3.386	3.386		
CP+1.0% de PR 10	3	3.399	3.399	3.399	3.399	
CP+2.5% de PR 10	3		3.511	3.511	3.511	
CP+1.0% de SR-1	3		3.524	3.524	3.524	
Concreto patrón	3			3.583	3.583	
CP+4.0% de PR 10	3				3.615	
CP+4.5% de PR 10	3					3.848
Sig.		0.556	0.059	0.126	0.073	1.000

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. Los datos del asentamiento se muestran en pulgadas.

4.4.3.3. Para el peso unitario del concreto

Los datos utilizados para esta prueba provienen de los resultados presentados en la Tabla 19 (pág. 118) y la Tabla 38 muestra la prueba post hoc de Tukey, de las comparaciones por grupo entre las medias de los pesos unitarios del concreto patrón y con aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10 para las dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%.

Tabla 38

Prueba de post hoc de Tukey para el peso unitario del concreto

Grupo experimental	N	Peso unitario				
		Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
CP+4.5% de PR 10	3	2,193.55				
CP+4.0% de PR 10	3		2,201.82			
CP+2.5% de PR 10	3			2,210.57		
CP+1.0% de SR-1	3			2,214.49		
Concreto patrón	3			2,215.29		
CP+1.0% de PR 10	3			2,216.47		

Grupo experimental	N	Peso unitario				
		Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
CP+2.5% de SR-1	3				2,238.22	
CP+4.0% de SR-1	3				2,244.64	2,244.64
CP+4.5% de SR-1	3					2,246.25
Sig.		1.000	1.000	0.258	0.179	0.998

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. Los datos promedio del peso unitario del concreto están en unidades de kg/m³.

Según la prueba de Tukey de comparaciones múltiples para los pesos unitarios del concreto según la dosis de aditivo utilizado de SikaRapid-1 y Per Rapid 10, se identificó cinco subconjuntos sin diferencias estadísticamente significativas dentro de cada grupo (para un $\alpha = 0.05$). El peso unitario del concreto patrón se encuentra en el subconjunto tres. Para los grupos experimentales con aditivo acelerante SikaRapid-1 se encuentran en los subconjuntos tres, cuatro y cinco. Los grupos experimentales con el aditivo Per Rapid 10 se encuentran en los subconjuntos uno, dos y tres. El grupo experimental CP+4.5% de PR 10 tiene menor peso unitario con referencia al concreto patrón; así mismo, el grupo experimental CP+4.5% de SR-1 tiene mayor peso unitario con referencia al peso unitario del concreto patrón.

4.4.4. Prueba de normalidad para el segundo objetivo específico

Para verificar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, recomendada cuando el tamaño muestral es menor a 50 observaciones (Novales, 2010, citado en Flores & Flores, 2021). Conforme a Luzuriaga et al. (2023), si el valor de p es mayor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula y se asume que los datos siguen una distribución normal. La prueba de normalidad se realizó

para cada edad de ensayo, es decir, para la edad de 3, 5, 7 y 28 días de ensayo de resistencia a compresión.

Para verificar la normalidad de datos de la resistencia a compresión se plantean las hipótesis como:

- **Hipótesis nula (H₀):** Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² provienen de una distribución normal.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² no provienen de una distribución normal.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a 0.05; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces aceptamos la H₀.
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces rechazamos la H₀ y aceptamos la H_a.

4.4.4.1. Para la resistencia a compresión a 3 días

La prueba de normalidad para la resistencia a compresión a los 3 días del concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10, se realizó tomando los datos de los resultados mostrados en la Tabla 22 (pág. 124) y los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 39. Se evidencia que para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los p-valor obtenidos son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H₀) y se afirma: Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² provienen de una distribución normal; esto a edad de 3 días de resistencia a compresión.

Tabla 39*Prueba de normalidad a 3 días de resistencia a compresión*

Grupo Experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (P-valor)
Concreto patrón	0.975	3	0.697
CP+1.0% de SR-1	0.900	3	0.387
CP+2.5% de SR-1	0.921	3	0.456
CP+4.0% de SR-1	0.962	3	0.624
CP+4.5% de SR-1	0.942	3	0.534
CP+1.0% de PR 10	0.793	3	0.099
CP+2.5% de PR 10	0.889	3	0.350
CP+4.0% de PR 10	0.933	3	0.501
CP+4.5% de PR 10	1.000	3	0.964

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.4.2. Para la resistencia a compresión a 5 días

La prueba de normalidad para la resistencia a compresión a los 5 días del concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10, se realizó tomando los datos de los resultados mostrados en la Tabla 23 (pág. 126) y los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 40.

Tabla 40*Prueba de normalidad a 5 días de resistencia a compresión*

Grupo Experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (P-valor)
Concreto patrón	0.829	3	0.186
CP+1.0% de SR-1	0.979	3	0.721
CP+2.5% de SR-1	0.804	3	0.123
CP+4.0% de SR-1	0.966	3	0.646
CP+4.5% de SR-1	0.946	3	0.552
CP+1.0% de PR 10	1.000	3	0.977
CP+2.5% de PR 10	0.796	3	0.104
CP+4.0% de PR 10	0.802	3	0.119
CP+4.5% de PR 10	0.973	3	0.687

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

Se evidencia que para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los p-valor obtenidos son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H_0) y se afirma que: Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ provienen de una distribución normal; esto a edad de 5 días de resistencia a compresión.

4.4.4.3. Para la resistencia a compresión a 7 días

La prueba de normalidad para la resistencia a compresión a los 7 días del concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10, se realizó tomando los datos de los resultados mostrados en la Tabla 24 (pág. 127) y los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 41.

Tabla 41

Prueba de normalidad a 7 días de resistencia a compresión

Grupo Experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (P-valor)
Concreto patrón	0.970	3	0.668
CP+1.0% de SR-1	0.890	3	0.354
CP+2.5% de SR-1	0.941	3	0.533
CP+4.0% de SR-1	0.931	3	0.494
CP+4.5% de SR-1	0.790	3	0.091
CP+1.0% de PR 10	0.992	3	0.831
CP+2.5% de PR 10	0.936	3	0.511
CP+4.0% de PR 10	0.966	3	0.644
CP+4.5% de PR 10	0.849	3	0.237

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

Se evidencia que para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los p-valor obtenidos son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H_0) y se afirma

que: Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ provienen de una distribución normal; esto a edad de 7 días de resistencia a compresión.

4.4.4.4. Para la resistencia a compresión a 28 días

La prueba de normalidad para la resistencia a compresión a los 28 días del concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10, se realizó tomando los datos de los resultados mostrados en la Tabla 25 (pág. 128) y los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 42.

Tabla 42

Prueba de normalidad a 28 días de resistencia a compresión

Grupo Experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	g.l.	Sig. (P-valor)
Concreto patrón	0.818	3	0.158
CP+1.0% de SR-1	0.826	3	0.178
CP+2.5% de SR-1	0.796	3	0.105
CP+4.0% de SR-1	0.807	3	0.131
CP+4.5% de SR-1	0.976	3	0.702
CP+1.0% de PR 10	0.918	3	0.446
CP+2.5% de PR 10	0.827	3	0.181
CP+4.0% de PR 10	0.812	3	0.144
CP+4.5% de PR 10	0.998	3	0.905

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

Se evidencia que para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, los p-valor obtenidos son superiores a 0.05 en todos los grupos experimentales; por tanto, aceptamos la hipótesis nula (H_0) y se afirma que: Los datos de la resistencia a compresión del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ provienen de una distribución normal; esto a edad de 28 días de resistencia a compresión.

4.4.5. Prueba de ANOVA para el segundo objetivo específico

Como menciona Triola (2009), el análisis de varianza (ANOVA) se utiliza para contrastar hipótesis sobre la igualdad de tres o más medias poblacionales, a partir del estudio de las varianzas muestrales.

Para realizar la prueba de hipótesis, se utiliza el estadístico paramétrico de ANOVA de un factor para determinar diferencias significativas entre las medias de grupos. Las hipótesis son las siguientes:

- **Hipótesis nula (H₀):** No hay diferencia significativa en las resistencias a compresión de concretos $f^c=210$ kg/cm² para las diferentes dosificaciones de aditivos acelerantes.
- **Hipótesis alterna (H_a):** Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² significativamente diferente.

Para tomar la regla de decisión se considera un nivel de significancia igual a 5% o equivalente a $\alpha = 0.05$; entonces se tiene la siguiente regla de decisión:

- Si: $p\text{-valor} > 0.05$; entonces aceptamos la H₀.
- Si: $p\text{-valor} \leq 0.05$; entonces aceptamos la H_a.

4.4.5.1. Para la resistencia a compresión a los 3 días

La Tabla 43 presenta la prueba de ANOVA de un factor para el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 utilizando los datos de resultados presentados en la Tabla 22 (pág. 124) en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es igual

a 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a); por tanto, se afirma que: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² significativamente diferente; esto para la edad de 3 días de resistencia a compresión.

Tabla 43

Prueba de ANOVA de un factor a 3 días de resistencia a compresión

f^c a los 3 días	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	24,848.454	8	3,106.057	880.657	0.000
Dentro de grupos	63.486	18	3.527		
Total	24,911.940	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.5.2. Para la resistencia a compresión a los 5 días

La Tabla 44 presenta la prueba de ANOVA de un factor para el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 utilizando los datos de resultados presentados en la Tabla 23 (pág. 126) en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es igual a 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a); por tanto, se afirma que: Al menos un porcentaje de los aditivos acelerantes genera una resistencia a compresión del concreto $f^c=210$ kg/cm² significativamente diferente; esto para la edad de 5 días de resistencia a compresión.

Tabla 44*Prueba de ANOVA de un factor a 5 días de resistencia a compresión*

f'c a los 5 días	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	18,965.426	8	2,370.678	277.582	0.000
Dentro de grupos	153.728	18	8.540		
Total	19,119.154	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.5.3. Para la resistencia a compresión a los 7 días

La Tabla 45 presenta la prueba de ANOVA de un factor para el concreto patrón y los grupos experimentales con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 utilizando los datos de resultados presentados en la Tabla 24 (pág. 127) en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%; donde, para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es igual a 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a); por tanto, se afirma que: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² significativamente diferente; esto para la edad de 7 días de resistencia a compresión.

Tabla 45*Prueba de ANOVA de un factor a 7 días de resistencia a compresión*

f'c a los 7 días	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	22,499.575	8	2,812.447	214.714	0.000
Dentro de grupos	235.775	18	13.099		
Total	22,735.349	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.5.4. Para la resistencia a compresión a los 28 días

Según la Tabla 46, la prueba de ANOVA de un factor para el concreto patrón y con aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10 utilizando los datos de resultados presentados en la Tabla 25 (pág. 128) en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%. Para un nivel de significancia de 5% o $\alpha = 0.05$, el p-valor es igual a 0.000; por consiguiente, rechazamos la hipótesis nula (H_0) y aceptamos la hipótesis alterna (H_a) afirmando: Al menos una dosificación de los aditivos acelerantes genera una resistencia a compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm² significativamente diferente; esto para la edad de 28 días de resistencia a compresión.

Tabla 46

Prueba de ANOVA de un factor a 28 días de resistencia a compresión

f'c a los 28 días	Suma de cuadrados	g.l.	Media cuadrática	F	Sig. (p-valor)
Entre grupos	21,358.675	8	2,669.834	106.529	0.000
Dentro de grupos	451.117	18	25.062		
Total	21,809.792	26			

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26.

4.4.6. Prueba de Tukey para el segundo objetivo específico

Según Triola (2009), el ANOVA permite identificar diferencias globales entre medias poblacionales, pero no especifica entre qué grupos ocurren. Para ello se aplican pruebas de comparaciones múltiples, como la de Tukey, que evalúa pares de medias controlando el nivel de significancia. Esta prueba se realizó para las edades de 3, 5, 7 y 28 días de ensayo de resistencia a compresión del concreto.

4.4.6.1. Para la resistencia a compresión a 3 días

La Tabla 47 presenta la comparación por grupos obtenido de la prueba de Tukey realizados con los datos de resultados presentados en la Tabla 22 (pág. 124) para los 3 días de resistencia a compresión del concreto.

Tabla 47

Prueba post hoc de Tukey a los 3 días de resistencia a compresión

Grupo experimental	N	Resistencia a compresión a los 3 días							
		Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
CP+2.5% de PR 10	3	49.20							
CP+4.0% de PR 10	3	54.39	54.39						
CP+1.0% de PR 10	3		58.47	58.47					
Concreto patrón	3			63.29					
CP+4.5% de PR 10	3				69.27				
CP+1.0% de SR-1	3					82.31			
CP+2.5% de SR-1	3						95.83		
CP+4.0% de SR-1	3							115.81	
CP+4.5% de SR-1	3								145.61
Sig.		0.063	0.230	0.099	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. La resistencia del concreto en kg/cm²

Se evidencia un total de ocho subconjuntos y el concreto patrón se encuentra en el subconjunto tres y no tiene mucha diferencia significativa con el grupo experimental CP+1.0% de PR 10. El CP+1.0% de PR 10 no tiene mucha diferencia significativa con el CP+4.0% de PR 10. El CP+2.5% de PR 10 no tiene mucha diferencia significativa con el

CP+4.0% de PR 10. Los grupos experimentales con aditivo acelerante SikaRapid-1 tienen diferencias significativas con respecto a los demás grupos experimentales del aditivo acelerante Per Rapid 10 y el concreto patrón.

4.4.6.2. Para la resistencia a compresión a 5 días

La Tabla 48 presenta la comparación por grupos obtenido de la prueba de Tukey realizados con los datos de resultados presentados en la Tabla 23 (pág. 126) para los 5 días de resistencia a compresión del concreto.

Tabla 48

Prueba post hoc de Tukey a los 5 días de resistencia a compresión

Grupo experimental	N	Resistencia a compresión a los 5 días					
		Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
CP+2.5% de PR 10	3	79.00					
CP+1.0% de PR 10	3		99.82				
CP+4.5% de PR 10	3			110.48			
Concreto patrón	3			112.79			
CP+4.0% de PR 10	3				128.21		
CP+4.0% de SR-1	3					144.42	
CP+1.0% de SR-1	3					145.18	
CP+2.5% de SR-1	3						156.87
CP+4.5% de SR-1	3						162.75
Sig.		1.000	1.000	0.985	1.000	1.000	0.310

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. La resistencia del concreto en kg/cm²

Se evidencia un total de seis subconjuntos y el concreto patrón se encuentra en el subconjunto tres y no tiene mucha diferencia significativa con el grupo experimental CP+4.5% de PR 10. El CP+4.0% de SR-1 no tiene mucha diferencia significativa con el CP+1.0% de SR-1. El CP+2.5% de SR-1 no tiene mucha diferencia significativa con el CP+4.5% de SR-1.

Para los demás grupos experimentales se tienen diferencias significativas en la resistencia a compresión a los 5 días.

4.4.6.3. Para la resistencia a compresión a 7 días

La Tabla 49 presenta la comparación por grupos obtenido de la prueba de Tukey realizados con los datos de resultados presentados en la Tabla 24 (pág. 127) para los 7 días de resistencia a compresión del concreto.

Tabla 49

Prueba post hoc de Tukey a los 7 días de resistencia a compresión

Resistencia a compresión a los 7 días						
Grupo experimental	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
CP+2.5% de PR 10	3	105.09				
CP+4.5% de PR 10	3		125.96			
CP+4.0% de PR 10	3		133.56			
Concreto patrón	3		134.18			
CP+1.0% de PR 10	3			151.58		
CP+1.0% de SR-1	3				173.61	
CP+4.5% de SR-1	3				181.42	181.42
CP+4.0% de SR-1	3					186.60
CP+2.5% de SR-1	3					190.15
Sig.		1.000	0.188	1.000	0.235	0.140

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. La resistencia del concreto en kg/cm²

Se evidencia un total de cinco subconjuntos y el concreto patrón se encuentra en el subconjunto dos y no tiene mucha diferencia significativa con los grupos experimentales CP+4.5% de PR 10 y CP+4.0% de PR 10. El CP+1.0% de SR-1 no tiene mucha diferencia significativa con el CP+4.5% de SR-1, por otro lado, el CP+4.5% de SR-1 no tiene mucha diferencia significativa con los grupos experimentales CP+4.0% de SR-1

y CP+2.5% de SR-1. Para los demás grupos experimentales se tienen diferencias significativas en la resistencia a compresión a los 7 días.

4.4.6.4. Para la resistencia a compresión a 28 días

La Tabla 50 presenta la comparación por grupos obtenido de la prueba de Tukey realizados con los datos de resultados presentados en la Tabla 25 (pág. 128) para los 28 días de resistencia a compresión del concreto.

Tabla 50

Prueba post hoc de Tukey a los 28 días de resistencia a compresión

Resistencia a compresión a los 28 días							
Grupo experimental	N	Subconjunto para alfa = 0.05					
		1	2	3	4	5	6
CP+2.5% de PR 10	3	181.21					
CP+4.5% de PR 10	3	187.15					
CP+4.0% de PR 10	3		202.89				
Concreto patrón	3			227.50			
CP+1.0% de PR 10	3			232.02	232.02		
CP+1.0% de SR-1	3			237.66	237.66	237.66	
CP+4.0% de SR-1	3				242.64	242.64	
CP+2.5% de SR-1	3					249.94	
CP+4.5% de SR-1	3						271.24
Sig.		0.863	1.000	0.301	0.253	0.128	1.000

Nota: Elaboración propia, datos procesados en SPSS v26. La resistencia del concreto en kg/cm²

Se evidencia un total de seis subconjuntos y el concreto patrón se encuentra en el subconjunto tres y no tiene mucha diferencia significativa con los grupos experimentales CP+1.0% de PR 10 y CP+1.0% de SR-1. El CP+2.5% de PR 10 no tiene mucha diferencia significativa con el CP+4.5% de PR 10; por otro lado, el CP+1.0% de PR 10 no tiene mucha diferencia significativa con los grupos experimentales CP+1.0% de SR-1 y CP+4.0% de SR-1. El CP+1.0% de SR-1 no tiene mucha diferencia



significativa con los grupos experimentales CP+4.0% de SR-1 y CP+2.5% de SR-1. Para los demás grupos experimentales se tienen diferencias significativas en la resistencia a compresión a los 28 días.

4.5. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

4.5.1. Primer objetivo específico

El primer objetivo específico (O.E. 1) “determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en las propiedades físicas del concreto de $f'c=210$ kg/cm², Puno-2024”, se desarrolló con la medición del concreto en estado fresco con y sin la incorporación de los aditivos acelerantes de resistencia SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en las dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respecto al peso del cemento, midiendo la temperatura, asentamiento y el peso unitario del concreto conforme establece la norma técnica peruana para su ejecución; además se realizó el tiempo de fraguado del cemento con la aguja Vicat establecido en la NTP 334.006.

La medición de la temperatura del concreto fresco se realizó conforme establece la NTP 339.184, los resultados muestran que con la adición en 4.5% de aditivo acelerante SikaRapid-1, la temperatura es de 14.80 °C con un incremento de 0.90 °C; mientras que con el aditivo acelerante Per Rapid 10 la temperatura es de 17.97 °C con un aumento de 2.77 °C tal como se muestra en la Tabla 17 (pág. 114) y también en el Anexo 7 (pág. 262) resultado de las propiedades del concreto fresco.

La medición del asentamiento del concreto se realizó conforme establece la NTP 339.035; donde, para el aditivo acelerante SikaRapid-1 el asentamiento disminuye conforme se incrementa la el porcentaje de aditivo acelerante, siendo



la reducción mayor de 8.79% respecto al asentamiento control con el 4.5% de aditivo; mientras que para el aditivo acelerante Per Rapid 10, aumenta en 7.40% respecto al control para 4.5% de aditivo acelerante; sin embargo, estos asentamientos están dentro de 3 a 4 pulgadas como fueron diseñados en el diseño de mezclas. Ver la Tabla 18 (pág. 116) y el Anexo 7 (pág. 262) resultado de las propiedades del concreto fresco.

La medición del peso unitario del concreto fresco se realizó conforme establece la NTP 339.046. Al incrementar el aditivo acelerante SikaRapid-1 aumenta en 1.40% respecto al control cuando se adiciona 4.5% de aditivo, ayudando a mejorar la compactación y teniendo un concreto más denso. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10, los resultados muestran una disminución respecto al control, disminuyendo en 0.98% con un porcentaje de 4.5% de aditivo acelerante. Ver la Tabla 19 (pág. 118) y el Anexo 7 (pág. 262) resultado de las propiedades del concreto fresco.

El tiempo de fraguado del cemento se realizó como se indica en la NTP 334.006, para ello se utilizó la aguja Vicat, una muestra control, cuatro muestras con aditivo acelerante SikaRapid-1 y cuatro muestras con aditivo acelerante Per Rapid 10 en 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante. Los resultados se muestran en la Tabla 20 (pág. 120) y el Anexo 9 (pág. 276) resultados del tiempo de fraguado del cemento. El tiempo de fraguado inicial se obtuvo cuando la guja Vicat registra 25 mm y el fraguado final se obtuvo cuando en la muestra de cemento la aguja Vicat ya no penetra en la muestra de cemento. Con 4.5% de aditivo acelerante SikaRapid-1 se obtiene un tiempo de fraguado inicial más rápido a los 160 minutos, disminuyendo en 56.04% respecto a la muestra control; mientras que, para el aditivo acelerante Per Rapid 10, con 2.5% de aditivo

acelerante se obtuvo un fraguado inicial a los 128 minutos, disminuyendo en 64.84% respecto a la muestra control. El tiempo de fraguado final fue a los 330 minutos, disminuyendo en 33.33% para el aditivo acelerante SikaRapid-1; mientras que el tiempo de fraguado final fue a los 315 minutos con el aditivo acelerante Per Rapid 10, disminuyendo en 36.36% respecto a la muestra control; Por tanto, se puede afirmar que se cumplió con el primer objetivo.

4.5.2. Segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico (O.E. 2) “determinar la influencia de la proporción de aditivos acelerantes de resistencia en la resistencia a compresión a los 3, 5, 7 y 28 días en concretos de $f^c=210$ kg/cm², Puno-2024”, donde se elaboró 108 probetas de concreto de 6 in x 12 in en total, distribuidos entre el concreto patrón y grupos experimentales con aditivo acelerante SikaRapid-1 y per Rapid 10 con dosificaciones de aditivo acelerante en 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%. Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron a los 3, 5, 7 y 28 días de curado tal como indica la NTP 339.034. Los resultados se muestran desde la Tabla 22 a la Tabla 25 (pág. 124 a la pág. 128) y para más detalle, ir al Anexo 8 (pág. 266) resultados de la resistencia a compresión. A los 7 y 28 días de ensayo con el aditivo acelerante SikaRapid-1 en 2.5% de adición, se obtuvieron incrementos notables en 41.72% y 9.86% con referencia al concreto patrón a las edades de 7 y 28 días respectivamente. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10, los incrementos son más moderados de 12.97% y 1.99% respecto al concreto patrón a las edades de 7 y 28 días. La contrastación de hipótesis se realizó tal como se describe en el ítem 4.4. Por tanto, se puede afirmar que se cumplió con el segundo objetivo.

4.5.3. Tercer objetivo específico

El tercer objetivo específico (O.E. 3) “Describir el aumento del costo unitario por metro cúbico en concretos de $f^c=210$ kg/cm² en Puno-2024, según diferentes proporciones de aditivos acelerantes de resistencia”, se realizó el análisis de precios unitarios para 1 m³ de concreto con la adición de aditivo acelerante de resistencia en dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% de aditivos acelerantes SikaRapid-1 y Per Rapid 10. El cálculo de costos se realizó con la inclusión de IGV tanto para la mano de obra y el costo de cotización de los materiales y equipos. Los resultados se muestran en la Tabla 29 (pág. 135) y el Anexo 10 (pág. 286) resultados del análisis de costos; siendo el costo para el concreto patrón de 499.45 soles; para el 2.5% de SikaRapid-1 un costo de 654.83 soles con incremento de 31.11% respecto al precio del concreto patrón y, con 1.0% de Per Rapid 10 un costo de 518.11 soles con incremento de 3.74% respecto al concreto patrón; por tanto, puede afirmar que se cumplió con el tercer objetivo.

4.6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON OTROS AUTORES

Los resultados correspondientes al objetivo específico uno, relacionados con las propiedades físicas del concreto fresco, se compararon y discutieron con los hallazgos reportados por los investigadores de los antecedentes, los cuales se presentan también en la Tabla 51. De igual manera, para el objetivo específico dos, referido a la resistencia a compresión del concreto, se realizó el análisis y la comparación con los resultados reportados en antecedentes, considerando edades similares a las evaluadas en el presente trabajo. La Tabla 52, muestra los valores en porcentajes de variación con respecto al concreto control. Finalmente, para el objetivo específico tres, se tomaron como referencia los precios reportados por los investigadores mencionados en los antecedentes.

Tabla 51

Resultados de antecedentes sobre propiedades físicas del concreto fresco

Autor	Tipo de aditivo	% de adición	Temperatura del concreto (°C)	Asentamiento del concreto	Peso unitario del concreto	
Estudio presente	Aditivo SikaRapid-1	1.0%	14.60	-1.65%	-0.04%	
		2.5%	13.20	-5.49%	1.03%	
		4.0%	12.30	-7.88%	1.32%	
		4.5%	14.80	-8.79%	1.40%	
		1.0%	15.97	-5.13%	0.05%	
Estudio presente	Per Rapid 10	2.5%	16.33	-2.01%	-0.21%	
		4.0%	16.60	0.92%	-0.61%	
		4.5%	17.97	7.40%	-0.98%	
Lemus (2021)	aditivo Acelerante de resistencia	0.5%	-	4.76%	-0.68%	
		1.3%	-	33.33%	-0.56%	
		2.0%	-	38.10%	-0.86%	
	Aditivo acelerante de fragua	1.0%	-	-4.76%	0.47%	
		2.0%	-	0.00%	0.51%	
		3.0%	-	14.29%	0.04%	
Solís et al. (2022)	Aditivo acelerante libre de cloruros (0.5)	0.5%	-	-68.42%	0.79%	
		1.0%	-	-74.73%	0.79%	
		1.5%	-	-100.00%	0.13%	
	Aditivo acelerante con cloruros (0.5)	0.5%	-	-52.63%	0.79%	
		1.0%	-	-60.00%	1.25%	
Huamani & Solon (2019)	Z fragua #5	1.0%	28.00	26.00%	0.09%	
		1.5%	25.00	30.00%	-0.09%	
		2.0%	25.50	34.00%	-0.39%	
	SikaRapid-1	2.5%	28.00	36.00%	-0.17%	
		1.0%	28.00	10.00%	-0.30%	
		1.5%	22.50	14.00%	-0.13%	
		2.0%	24.50	20.00%	-0.34%	
	2.5%	27.50	20.00%	0.00%		
			1.2%	-	0.00%	0.46%

Autor	Tipo de aditivo	% de adición	Temperatura del concreto (°C)	Asentamiento del concreto	Peso unitario del concreto
Huaraca (2021)	Accelguard 100 ^(0.5)	2.4%	-	-6.25%	0.68%
		1.2%	-	0.00%	-30.31%
		2.4%	-	-5.88%	-29.69%
Villanueva (2022)	acelerante AC-4200	1.0%	-	3.22%	-
		2.0%	-	1.93%	-
		3.0%	-	4.50%	-
Marín (2024)	SikaCem Acelerante PE	3.0%	-	7.69%	2.15%

Nota: Los superíndices (0.5) y (0.65) representan la relación a/c utilizado en la mezcla.

Tabla 52

Resultados de antecedentes sobre la resistencia a compresión

Autor	Tipo de aditivo	% de adición	Edad de ensayo				
			3	5	7	14	28
Estudio presente	Aditivo SikaRapid-1	1.0%	30.05%	28.72%	29.39%	-	4.46%
		2.5%	51.41%	39.08%	41.72%	-	9.86%
		4.0%	82.98%	28.05%	39.07%	-	6.65%
		4.5%	130.06%	44.30%	35.21%	-	19.22%
Estudio presente	Aditivo Per Rapid 10	1.0%	-7.62%	-11.50%	12.97%	-	1.99%
		2.5%	-22.26%	-29.96%	-21.68%	-	-20.35%
		4.0%	-14.06%	13.68%	-0.46%	-	-10.87%
		4.5%	9.44%	-2.04%	-6.13%	-	-17.74%
Lemus (2021)	aditivo Acelerante de resistencia	0.5%	15.33%	-	10.38%	-	9.42%
		1.3%	16.65%	-	15.63%	-	3.28%
		2.0%	16.65%	-	18.19%	-	6.96%
	Aditivo acelerante de fragua	1.0%	15.36%	-	10.35%	4.44%	9.45%
		2.0%	16.67%	-	15.63%	5.67%	3.29%
Solís et al. (2022)	Aditivo acelerante libre de cloruros _(0.5)	3.0%	16.67%	-	18.16%	6.13%	6.99%
		0.5%	3.01%	-	0.00%	-	0.31%
		1.0%	2.63%	-	0.69%	-	2.19%
		1.5%	5.64%	-	9.34%	-	5.94%

Autor	Tipo de aditivo	% de adición	Edad de ensayo					
			3	5	7	14	28	
Huamani & Solon (2019)	Aditivo acelerante con cloruros (0.5)	0.5%	0.00%	-	-0.35%	-	0.00%	
		1.0%	1.88%	-	3.11%	-	1.25%	
		1.5%	10.53%	-	5.88%	-	5.00%	
	Z fragua #5	1.0%	8.33%	-	10.00%	9.77%	6.85%	
		1.5%	19.44%	-	21.67%	21.40%	16.13%	
		2.0%	-1.39%	-	16.67%	17.31%	16.13%	
		2.5%	25.69%	-	15.56%	21.86%	22.58%	
		1.0%	12.50%	-	25.00%	20.47%	16.53%	
		SikaRapid-1	1.5%	31.25%	-	31.67%	20.47%	10.89%
			2.0%	7.64%	-	25.56%	15.81%	13.31%
Huaraca (2021)	Accelguard 100 ^(0.5)	2.5%	25.69%	-	14.44%	13.49%	10.48%	
		1.2%	4.58%	-	4.02%	-	-3.31%	
	2.4%	6.56%	-	6.07%	-	-12.72%		
	Accelguard 100 ^(0.65)	1.2%	11.51%	-	2.69%	-	-4.74%	
2.4%		20.53%	-	5.95%	-	-7.92%		
Villanueva (2022)	acelerante AC-4200	1.0%	-	-	25.28%	15.60%	2.60%	
		2.0%	-	-	17.29%	6.48%	2.71%	
		3.0%	-	-	26.13%	7.17%	3.84%	
Quispe & Mosqueira (2022)	Z fragua #5 ^(HE)	4.3%	21.66%	18.50%	15.26%	17.57%	-1.20%	
	Z fragua #5 ⁽¹⁾	4.3%	31.98%	35.29%	27.96%	19.24%	12.49%	
Valle (2018)	Z fragua #5	2.5%	-	-	38.10%	17.96%	6.33%	
		3.0%	-	-	43.99%	23.26%	10.13%	
		3.5%	-	-	47.43%	27.03%	12.92%	
	Chema 3	2.5%	-	-	37.00%	17.00%	6.00%	
		3.0%	-	-	43.32%	22.36%	9.47%	
		3.5%	-	-	46.45%	26.54%	12.49%	
	SikaCem Acelerante PE	2.5%	-	-	39.05%	19.04%	6.46%	
		3.0%	-	-	45.12%	24.38%	10.46%	
3.5%	-	-	47.88%	27.75%	13.20%			
Marín (2024)	SikaCem Acelerante PE	3.0%	-	-	6.30%	12.90%	3.53%	

Autor	Tipo de aditivo	% de adición	Edad de ensayo				
			3	5	7	14	28
Mamani (2024)	Chema 5 ^(IP)	1.0%	-	-	-2.63%	-13.74%	-9.77%
		2.0%	-	-	-5.95%	-18.58%	-23.46%
		3.0%	-	-	-12.97%	-24.29%	-30.24%
		4.0%	-	-	-21.60%	-29.86%	-36.18%
	Chema 3 ^(IP)	1.0%	-	-	4.55%	-4.51%	-5.31%
		2.0%	-	-	8.04%	-5.51%	-6.87%
		3.0%	-	-	9.95%	-8.14%	-8.89%
		4.0%	-	-	8.80%	-8.89%	-9.07%
	Chema 5 ^(I)	1.0%	-	-	19.77%	13.53%	12.61%
		2.0%	-	-	22.97%	23.40%	16.31%
		3.0%	-	-	28.45%	34.33%	15.71%
		4.0%	-	-	16.19%	35.34%	18.07%
	Chema 3 ^(I)	1.0%	-	-	22.10%	5.60%	0.04%
		2.0%	-	-	38.06%	7.93%	1.37%
		3.0%	-	-	40.96%	21.23%	3.34%
		4.0%	-	-	47.38%	18.66%	5.18%
Arenas (2022)	SikaCem Acelerante PE	1.0%	-	-	14.67%	-	9.09%
		2.0%	-	-	19.35%	-	13.20%
		3.0%	-	-	27.04%	-	17.84%
		4.0%	-	-	16.85%	-	8.90%
	Chema 3	1.0%	-	-	2.91%	-	5.09%
		2.0%	-	-	26.54%	-	11.30%
		3.0%	-	-	32.50%	-	8.85%
		4.0%	-	-	34.92%	-	18.10%
Calloapaza (2021)	Chema 3	2.0%	-	-	43.75%	21.28%	9.63%
	SikaCem Acelerante PE	2.0%	-	-	46.72%	24.13%	8.50%

Nota: Se tomó en consideración las edades de ensayo similares al presente estudio.

Leyenda: los superíndices (0.5) y (0.65) son las relaciones a/c, (HE) mezcla con cemento tipo HE, (I) mezcla con cemento tipo I, (IP) mezcla con cemento tipo IP.



4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.7.1. Discusión de resultados del primer objetivo específico

4.7.1.1. Temperatura del concreto

La temperatura para el concreto patrón en estado fresco fue de 14.67 °C y para los concretos con aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0%, 2.5% y 4.0% y 4.5% respecto al peso del cemento, fueron de 14.60, 13.20, 12.30, y 14.80 °C; sin embargo, existieron aumentos en la temperatura del concreto patrón y también con aditivo SikaRapid-1 en 0.47, 0.60, 0.70, 0.70 y 0.90 °C con referencia a la temperatura del agua. Para el aditivo acelerante Per Rapid-10 las temperaturas fueron de 15.97, 16.33, 16.60 y 17.97 °C para dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respectivamente; además las temperaturas incrementaron en 1.07, 1.93, 1.70 y 2.77 °C con respecto a la temperatura del agua en las dosificaciones analizadas. Huamani y Solon (2019) realizaron también el ensayo de temperatura del concreto en clima cálido, donde registro para el concreto patrón una temperatura de 27 °C; sin embargo, al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1 en 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% respecto al peso del cemento, las temperaturas fueron de 28, 25, 25.5, 28 °C y con el aditivo Z fragua #5 en 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% de aditivo acelerante fueron de 28, 22.5, 24.5 y 27.5 °C indicando que la temperatura ambiente tiene una influencia directa en la temperatura del concreto; caso similar a la presente investigación; sin embargo, los aditivos Per Rapid 10 causan mayor aumento de temperatura específicamente en 4.5% de aditivo acelerante.



4.7.1.2. Asentamiento del concreto

El asentamiento promedio del concreto patrón fue de 3.583 pulgadas (9.10 cm) y al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1, los asentamientos se redujeron; siendo la dosis de 4.5% en reducir hasta un 8.79% respecto al control; mientras que Per Rapid 10 incrementó el asentamiento para las dosis de 4.0% y 4.5% en 0.92% y 7.40%; sin embargo, estadísticamente las diferencias son mínimas, estando dentro de una consistencia de 3" a 4" para todas las dosificaciones de aditivo. Lemus (2021) obtuvo incrementos de hasta 38.10% con 2.0% de aditivo acelerante de resistencia; pero, al aplicar el aditivo acelerante de fragua en dosis de 1.0%, disminuyó en 4.76%. Por otro lado, Solís et al. (2022) obtuvieron disminuciones al aplicar aditivo acelerante libre de cloruros de hasta un 100% y al aplicar el aditivo acelerante con cloruros, una disminución de hasta un 63.15% respecto al control. Así mismo, Villanueva (2022) al aplicar aditivo acelerante AC-4200 en el concreto; incrementaron hasta 4.5% respecto al control para la dosis de 3.0% de aditivo. Discutiendo con los autores mencionado, se puede mencionar que el tipo de aditivo acelerante al tener diferentes composiciones, pueden causar la disminución del asentamiento del concreto como es el caso para los aditivos libres de cloruros; así mismo, también puede favorecer a aumentar el asentamiento del concreto y por tanto mejorar la trabajabilidad; como es el caso del aditivo acelerante Per Rapid 10, al ser un aditivo tipo C y a la vez de tipo E aumentaron ligeramente en las dosificaciones de 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante.



4.7.1.3. Peso unitario del concreto

El peso unitario del concreto patrón fue 2215.29 kg/m³ y al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1, causó un efecto de incremento, donde la dosificación de 4.5% registró un mayor incremento de 1.40% respecto al control; mientras que con aditivo acelerante Per Rapid 10, se obtuvo disminuciones, siendo la dosis de 4.5% de aditivo con mayor disminución de hasta 0.98% respecto al control. De manera similar, Lemus (2021) reportó que el aditivo acelerante de resistencia generó disminuciones en el peso unitario del concreto; siendo la dosificación de 2.0% en disminuir en 0.86%; sin embargo, el aditivo de fraguado generó incrementos, siendo la dosificación de 2.0% en incrementar en 0.51% respecto a su control. Por otro lado, Huamani y Solon (2019) al utilizar el aditivo acelerante Z fragua #5 y SikaRapid-1, encontraron reducciones máximas de 0.39% y 0.34% respectivamente con la dosis de 2.0% de aditivo acelerante. Marín (2024) al adicionar SikaCem Acelerante PE en 3.0% obtuvo un incremento de 2.15% respecto al peso unitario control. Los resultados obtenidos por los autores mencionados son similares a la presente investigación, ya que tanto los aditivos acelerantes de fragua y resistencia tienen influencia en su peso unitario del concreto, pero en mínimas variaciones.

4.7.1.4. Tiempo de fraguado del cemento

Para el cemento tipo HS en condiciones ambientales de 13.7 °C, el fraguado inicial fue a los 364 minutos y el fraguado final fue a los 495 minutos; estos resultados están dentro de lo establecido por la NTP



334.082 (2020) quien establece que el fraguado inicial no deberá ser antes de los 45 minutos ni mayor a 420 minutos; sin embargo, no indica el parámetro para el tiempo de fraguado final. Al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1 en dosis de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respecto al peso del cemento, el tiempo de fraguado inicial se redujo en 35.99%, 40.11%, 51.92% y 56.04% respectivamente en comparación con la muestra patrón. Con el aditivo acelerante Per Rapid 10 en dosis de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5%, el tiempo de fraguado inicial se redujo en 50.55%, 64.84%, 40.66% y 41.48% respectivamente con referencia a la muestra patrón. Para el fraguado final, SikaRapid-1 y Per Rapid 10 en dosis de 4.5% y 2.5%, redujeron en 33.33% y 36.36% respectivamente en comparación con el control. Por otro lado, Quispe y Mosqueira (2022) obtuvieron el tiempo de fraguado inicial de 199 minutos con el cemento tipo HE y de 211 minutos para el cemento tipo I; mientras que el tiempo de fraguado final obtuvieron 300 y 315 minutos para cemento HE y tipo I respectivamente; al adicionar aditivo acelerante Z fragua #5 en dosis de 4.3%, el tiempo de fraguado inicial se redujo a 151 minutos (24.12%) y 168 minutos (20.38%) para el cemento tipo HE y tipo I; mientras que el tiempo de fraguado final se redujo a 255 minutos (15%) y 270 minutos (14.29%) con cemento tipo HE y tipo I respectivamente; estos resultados son similares para el tiempo de fraguado inicial con los resultados obtenidos en la presente investigación en las dosis de 4.0% y 4.5% de aditivo acelerante SikaRapid-1 y 1.0% de aditivo acelerante de Per Rapid 10; sin embargo, para el tiempo de fraguado final no son similares con los



estudio de Quispe y Mosqueira (2022) debido a que utilizaron cementos con diferentes características al presente estudio.

4.7.2. Discusión de resultados del según objetivo específico

La resistencia a compresión promedio a los tres días de ensayo para el concreto patrón fue de 63.29 kg/cm². Con el aditivo acelerante SikaRapid-1 se observó un incremento en la resistencia a compresión del concreto en todas las edades evaluadas, siendo la dosificación de 4.5% respecto al peso del cemento, con un incremento máximo de 130.06% respecto al concreto patrón. Para el aditivo Per Rapid 10, solo la dosificación de 4.5% incremento de 9.44% respecto al concreto patrón. Citando a Lemus (2021), obtuvo 1920 Psi (134.99 kg/cm²) del concreto patrón con cemento tipo I; cuando añadió aditivos acelerantes de resistencia y de fraguado obtuvo incrementos máximos de 16.65% y 16.67%. Así mismo, Solís et al. (2022) obtuvieron 266 kg/cm² para el concreto patrón en curado húmedo y al aplicar aditivos acelerante sin cloruro y con cloruro obtuvo incrementos máximos de 5.64% y 10.53% respecto al concreto patrón; estos incrementos obtenidos por los dos autores son en porcentajes menores a comparación con los obtenidos en la presente investigación, las razones se deben al tipo de cemento que utilizaron como es el cemento tipo I y cemento portland compuesto ordinario (CPC 30R) que desarrollan resistencias altas a edades temprana; sin embargo ambos resultados tiene relación con la presente investigación debido a que existen incrementos mayores al concreto patrón. Por otro lado, Huamani y Solon (2019) obtuvieron un concreto patrón de 144 kg/cm² con cemento Gu y al aplicar el aditivo acelerante Z fragua #5 y SikaRapid-1 obtuvieron aumentos máximos de 25.69% y 31.25% con respecto al concreto patrón. Según la discusión con otros autores, se evidencia que los aditivos



acelerantes, causan efecto de desarrollar más rápido las resistencias iniciales en las primeras edades como es el aditivo acelerante SikaRapid-1 y 4.5% de Per Rapid-10.

Para la edad de ensayo a los cinco días, el concreto patrón alcanzó una resistencia promedio de 112.79 kg/cm². Al aplicar el aditivo acelerante SikaRapid-1 existió incrementos en la resistencia a compresión en todas las dosificaciones utilizadas; siendo la dosis del 4.5% en incrementar como máximo en 44.30% respecto al concreto patrón. Para el aditivo acelerante Per Rapid 10, solo la dosis de 4.0% tiende a incrementar hasta un 13.68% respecto al concreto patrón. estos resultados se discuten con Quispe y Mosqueira (2022) que también realizaron el ensayo a compresión a los 5 días; llegando a obtener una resistencia de 202.45 kg/cm² con cemento tipo HE y 188.64 kg/cm² con cemento Tipo I; y al aplicar el aditivo acelerante en 4.33% de aditivo Z fragua #5 (1,000 ml por bolsa de cemento) obtuvieron incrementos de 18.50% y 35.29% con cemento tipo HE y Tipo I respectivamente; estos resultados se asemejan a los incrementos para el aditivo SikaRapid-1 en dosificaciones de 1.0% y 4.0% y para el aditivo Per Rapid 10 con el 4.0% de dosificación.

Para la edad de ensayo a los siete días, el concreto patrón alcanzó una resistencia a compresión promedio de 134.18 kg/cm². Al emplear el aditivo acelerante SikaRapid-1 en el concreto, la dosis de 2.5% generó un incremento máximo de la resistencia a compresión en 41.72% respecto al concreto patrón. Para el concreto con el aditivo acelerante Per Rapid 10, la dosis de 1.0% de aditivo es el único porcentaje que incrementa en 12.97% respecto al concreto patrón. Villanueva (2022) obtuvo 170.19 kg/cm² utilizando cemento tipo I; sin embargo, al adicionar el aditivo acelerante AC-4200 obtuvo un incremento máximo de



26.13% respecto al concreto patrón; así mismo, Calloapaza (2021) obtuvo 131.2 kg/cm² en su concreto control con cemento portland tipo IP y al adicionar aditivos acelerantes Chema 3 y SikaCem Acelerante PE en dosis de 2.0%, la resistencia del concreto aumentaron considerablemente en 43.75% y 46.72%; por tanto, los incrementos de la resistencia a compresión a los 7 días son similares con la presente investigación, esto debido al tipo de cemento que se utilizaron. Por otro lado, el aditivo acelerante Per Rapid 10 en las dosificaciones de 2.5%, 4.0% y 4.5%, no favorecieron el desarrollo de las resistencias iniciales, disminuyendo en 21.68%, 0.46%, 6.13% respecto al concreto patrón; estos resultados de disminución de resistencia del concreto al aplicar aditivos acelerantes se evidencia en el estudio de Mamani (2024) donde obtuvo 139.04 kg/cm² para el concreto control con cemento tipo IP y al aplicar aditivo a base de cloruro de calcio (Chema 5) en dosificaciones de 1.0%, 2.0%, 3.0% y 4.0% disminuyeron en 2.63%, 5.95%, 12.97% y 21.60% respecto al concreto control, dando a entender que factores como el tipo de cemento, cantidad de aditivo, los agregados utilizados y condiciones de ensayo, pueden afectar la resistencia del concreto.

A los 28 días de ensayo, el concreto patrón llegó a una resistencia promedio de 227.50 kg/cm². Al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1, se obtuvo incrementos máximos 19.22% para dosificación de 4.5% y 9.86% para dosificación de 2.5% respecto al concreto patrón, evidenciando que este aditivo mejora las resistencias finales en el concreto. Resultados similares se reportan en los estudios de Huamani y Solon (2019), donde su concreto control llegó a 248 kg/cm² con cemento Gu y al adicionar el Aditivo acelerante Z fragua #5 y SikaRapid-1, obtuvieron incrementos máximos de 22.58% y 16.53% respecto al concreto control. De la misma forma, Lemus (2021), obtuvo 3650 psi (256.62



kg/cm²) para el concreto patrón con cemento tipo I; y al aplicar aditivos acelerantes de resistencia y fraguado obtuvo incrementos máximos de 9.42% y 9.45% respecto al concreto patrón. Por otro lado, Arenas (2022) reportó una resistencia a compresión de 218.41 kg/cm² con cemento tipo IP, y al adicionar los aditivos acelerantes SikaCem Acelerante PE y Chema 3, obtuvo incrementos máximos de 17.84% y 18.10% respecto al concreto patrón; siendo estos resultados similares a los resultados de la presente investigación, dando a entender que los aditivos acelerantes, mejoran la resistencia final del concreto. Con respecto al aditivo acelerante Per Rapid 10, la dosis de 1.0% incrementa en 1.99% con respecto al concreto patrón; mientras que con la adición de 2.5%, 4.0% y 4.5% de aditivo, disminuyeron en las resistencias finales; estos resultados de disminución de la resistencia del concreto podría explicarse por la sobre dosificación del aditivo acelerante en el concreto, lo cual coincide con lo reportado por Huaraca (2021), quien observó reducciones de resistencia al emplear el acelerante Accelguard 100 con cemento Tipo I en determinadas relaciones a/c. De manera similar, Mamani (2024) indicó que, aunque los aditivos a base de cloruro de calcio y sales alcalinas pueden incrementar la resistencia a compresión del concreto con cementos Tipo I; en cementos Portland Tipo IP se evidenciaron disminuciones significativas. Estos resultados nos dan un indicio que el tipo de cemento y la composición del aditivo utilizado en la mezcla tienen una influencia en la resistencia del concreto; en la presente investigación, el aditivo Per Rapid 10 en porcentajes mayores a 1.0% y con el cemento tipo HS influyen negativamente en la resistencia a compresión del concreto.

4.7.3. Discusión de resultados del tercer objetivo específico

El costo unitario del concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con cemento tipo HS fue de S/ 499.45. Al adicionar el aditivo acelerante SikaRapid-1 al 2.5%, se lograron los mejores resultados a los 7 y 28 días, con un incremento de 31.11% en el costo respecto al patrón. Asimismo, el uso de Per Rapid 10 al 1.0% también mostró buenos resultados, con un aumento de solo 3.74% en el costo. Huamaní y Solón (2019) reportaron un costo de S/ 441.84 para el concreto patrón y aumentos de 18.02% y 18.56% al incorporar SikaRapid-1 en 1.5% y Z Fragua #5 en 2.5%, respectivamente. De manera similar, Mamani (2024) obtuvo un costo de S/ 524.30 con cemento tipo I, con incrementos de 5.77% y 7.42% al adicionar 1.0% de aditivos a base de cloruro de calcio y sales alcalinas. De esta forma, la adición de aditivos acelerantes aumenta el costo del concreto y las diferencias de costos entre los estudios se explican por la variación en el precio de los aditivos, cantidad de aditivo utilizado, la mano de obra, precio de materiales del mercado.

Tabla 53

Discusión de costos del concreto

Estudio	Resistencia (kg/cm ²)	Costo (S/m ³)
Presente investigación Concreto patrón	227.50	499.45
Presente investigación (SikaRapid-1 en 2.5%)	249.94	654.83
Presente investigación (Per Rapid 10 en 1.0%)	232.02	518.11
Huamaní y Solon (2019) concreto patrón	248	441.84
Huamaní y Solon (2019) SikaRapid-1 en 1.5%	275	521.47
Huamaní y Solon (2019) Z fragua #5 en 2.5%	304	523.39
Mamani (2024) concreto patrón	339.64	524.3
Mamani (2024) Chema 5 en 1%	382.47	554.56
Mamani (2024) chema 3 en 1%	339.77	563.21

Nota: Elaboración propia.



V. CONCLUSIONES

- **C.E. 1:** Se concluye que el aditivo acelerante SikaRapid-1 influye en las propiedades físicas del concreto fresco. Se observó una tendencia a incrementar la temperatura del concreto a medida que se aumentó el porcentaje del aditivo, registrándose la temperatura máxima de 14.80 °C e incremento máximo de 0.90 °C con el 4.5% de aditivo, efecto medido respecto a la temperatura del agua de amasado. El asentamiento disminuyó con el aumento de aditivo acelerante, reduciendo la trabajabilidad. En cuanto al peso unitario, presentó incrementos de 1.03%, 1.32% y 1.40% para las dosificaciones de 2.5%, 4.0% y 4.5%, respectivamente. Respecto al fraguado del cemento tipo HS, la dosificación del 4.5% redujo el tiempo de fraguado inicial en 56.04% y el fraguado final en 33.33% respecto a la muestra patrón.
En el caso del aditivo acelerante Per Rapid 10, también se evidenciaron variaciones notables en las propiedades físicas del concreto fresco. La temperatura máxima del concreto registrado fue de 17.97 °C, con incremento en 2.77 °C con la dosis de 4.5%. El asentamiento aumentó con el incremento del aditivo, mejorando la trabajabilidad. El peso unitario mostró una disminución progresiva de 0.21%, 0.61% y 0.98% para las dosificaciones con 2.5%, 4.0% y 4.5% de aditivo. Finalmente se concluye que el tiempo de fraguado del cemento tipo HS en la dosis de 2.5% presentó el mayor efecto, reduciendo el tiempo de fraguado inicial en 64.84% y el fraguado final en 36.36% respecto a la muestra patrón.
- **C.E. 2:** Respecto a la resistencia a compresión del concreto, la adición del aditivo acelerante SikaRapid-1 produjo mejores resultados en todas las edades de ensayo y dosis evaluados; siendo la adición de 2.5% de aditivo, la dosis con mejores resultados dentro de rangos recomendados por el fabricante, incrementando a los 3 días en



51.41%, a los 5 días en 39.08%, a los 7 días en 41.72% y en los 28 días en 9.86% respecto al concreto patrón, cumpliendo el requisito mínimo exigido por la NTP 334.088 para acelerantes tipo C. Para la adición en 4.5% de aditivo acelerante, dosis fuera del porcentaje recomendado por el fabricante, a los 28 días causó un efecto mayor incrementando en 19.22% respecto al concreto patrón; Por tanto, se concluye que con el aditivo acelerante SikaRapid-1 se obtuvo mejores resultados en la resistencia a compresión en todas las edades evaluadas.

Con respecto al aditivo acelerante Per Rapid 10, la adición del 4.5% generó un incremento del 9.44% a los 3 días; la adición del 4.0% alcanzó un aumento del 13.68% a los 5 días; mientras que la dosis del 1.0% presentó un incremento del 12.97% a los 7 días y del 1.99% a los 28 días de ensayo. Esta última dosis de 1.0% de aditivo fue el único que mostró resultados favorables en las edades de 7 y 28 días de ensayo, cumpliendo además con el requisito mínimo exigido por la NTP 334.088 para aditivos tipo C y tipo E. En cambio, las dosificaciones de 2.5%, 4.0% y 4.5% influyeron negativamente en la resistencia a compresión, presentando disminuciones respecto al concreto patrón en las edades de 7 y 28 días; por tanto, se concluye que dosis mayores a 1.0% de aditivo acelerante Per Rapid 10 no favorecieron en el desarrollo de la resistencia.

- **C.E. 3:** El costo del concreto patrón para un metro cúbico fue de S/ 499.45. Con el aditivo acelerante SikaRapid-1 los costos incrementaron en 12.44%, 31.11%, 49.73% y 55.95% para las dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respectivamente. Por otro lado, con el aditivo acelerante Per Rapid 10 los costos incrementaron en 3.74%, 9.33%, 14.93% y 16.80% para las dosificaciones de 1.0%, 2.5%, 4.0% y 4.5% respectivamente; por tanto, se concluye que si se prioriza la eficiencia económica sin comprometer la resistencia, la dosis de 1.0% de aditivo acelerante Per Rapid 10 es la



opción más recomendable, ya que proporciona un aumento de resistencia moderado con bajo impacto en el costo; pero si se busca un concreto con mayor desarrollo de resistencia mecánica a tempranas edades, la opción más eficiente es la dosis de 2.5% de SikaRapid-1, pese a que representa un incremento de costo del 31.11%, ya que obtuvo una resistencia de 249.94 kg/cm² a los 28 días de ensayo dentro de las alternativas analizadas.

- **C.G.:** De acuerdo al objetivo general, se concluye que la proporción de aditivos acelerantes de resistencia influyen significativamente en las propiedades físico-mecánicas el concreto $f'c = 210$ kg/cm² según la marca comercial y cantidad de aditivo acelerante utilizado. Para las propiedades físicas del concreto en estado fresco, el comportamiento fue distinto entre el SikaRapid-1 y Per Rapid 10; así mismo, para la resistencia a compresión del concreto, los grupos experimentales con el aditivo acelerante SikaRapid-1 tuvieron mejores resultados para todas las edades de ensayo, favoreciendo a ganar resistencias iniciales más altas y mejorando las resistencias finales; mientras que, para el aditivo acelerante Per Rapid 10, las dosis por encima de 1.0%, no favorecieron en el desarrollo de la resistencias iniciales y disminuyendo las resistencias finales comparados con el concreto patrón. Con respecto al costo de producción del concreto, existe un mayor aumento con el aditivo acelerante de resistencia SikaRapid-1 y un aumento moderado con el aditivo acelerante de resistencia Per Rapid 10.



VI. RECOMENDACIONES

- **R.E. 1:** Se recomienda controlar la temperatura del agua de amasado, de los agregados y también del medio ambiente durante la preparación del concreto en obra, especialmente en épocas con bajas temperaturas y evaluar el impacto que causa el aditivo acelerante en las propiedades del concreto como el asentamiento, el peso unitario y el tiempo de fraguado.
- **R.E. 2:** Se recomienda emplear el aditivo acelerante SikaRapid-1 en la dosis de 2.5% respecto al peso del cemento, en vista que se obtuvo mejores resultados en la resistencia a compresión a los 7 días y un aumento significativo a los 28 días de ensayo. Respecto al uso del aditivo acelerante Per Rapid 10, se recomienda utilizar en la dosis de 1% respecto al peso del cemento, especialmente en la localidad de Puno, incluso realizar ensayos con 0.5% de aditivo acelerante, ya que cantidades superiores de aditivo no favorecieron en el desarrollo de la resistencia a compresión en las condiciones evaluadas.
- **R.E. 3:** Se recomienda realizar un análisis técnico y económico previo en cada proyecto, evaluando la mejor alternativa para elegir el tipo y marca de aditivos acelerantes juntamente con el tipo de cemento a utilizar. Según la investigación realizada; para optimizar costos, se recomienda emplear el aditivo acelerante Per Rapid 10 al 1.0% respecto al peso del cemento. Para alcanzar mayores resistencias iniciales y finales, se recomienda emplear el SikaRapid-1 al 2.5% respecto al peso del cemento; sin embargo, en el mercado existen otros aditivos acelerantes que también sería buena opción analizarlos.



- **R.G:** Se recomienda realizar ensayos complementarios con otros tipos de aditivos acelerantes de resistencia o de fraguado existentes en el mercado local, para evaluar su desempeño cuando son mezclados con el cemento tipo HS, debido a que este tipo de cemento viene siendo el más utilizado en los diferentes proyectos de la localidad y distribuido en el mercado local.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)* (Segunda edición). San Marcos E.I.R.L.
- AE aditivos especiales. (2024). *Per Rapid 10 aditivo líquido acelerante para concreto y mortero*.
<https://www.aditivosespeciales.com.pe/userfiles/files/FICHAS%20TECNI CAS/FT%20PER%20RAPID%2010.pdf>
- Arenas Condori, J. T. (2022). *Análisis de la Influencia de acelerantes de Fragua y Resistencia en las Propiedades Mecánicas del Concreto Convencional, Puno 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98184>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de la Investigación: Introducción a la metodología de la investigación* (Editorial Episteme, Vol. 6).
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2003). *Manual de control de calidad del concreto en la obra* (1.^a ed.). ASOCRETO.
- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2010). *Tecnología del Concreto Tomo I Materiales, propiedades y Diseño de Mezclas* (3.^a ed.). ASOCRETO.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación* (Editorial Patria, Vol. 3).
- Beltrán, Á. (2012). *Costos y Presupuestos*.
- Borja, M. (2012). *Metodología de investigación científica para ingenieros*.
- Calloapaza Parisayla, A. (2021). *Estudio comparativo del esfuerzo a compresión del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ con aditivo Chema 3 y SikaCem Acelerante*



- PE, Juliaca -2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88109>
- Cariga Diaz, C. M. (2023). *Adición de aditivos acelerantes de fragua para concreto de resistencia 210 kg/cm² con agregados de la cantera jeka - Churubamba 2022* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco].
<http://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/4434>
- Carrillo Apaza, B. (2025). *Influencia de la calidad de mano de obra sobre la resistencia del concreto estructural en edificaciones autoconstruidas del distrito de Juli-Chucuito, 2024* [Universidad Nacional del Altiplano].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/24693>
- Castellón, H., & De la Ossa, K. (2013). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III, modificados con aditivos acelerantes y retardantes* [Tesis de pregrado, Universidad de Cartagena].
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/537>
- Ceballos Arana, M. A. (2016). El concreto, material fundamental para la infraestructura. *Centro de Innovación Tecnológica Para La Construcción (CiTeC)*, 24–25.
<https://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/agosto2016/experto.pdf>
- Cemento Yura. (2024). *Ficha Técnica Yura Max Máxima durabilidad*.
<https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/FICHA-TECNICA-YURA-MAX-2024.pdf>
- Cheung, J., Roberts, L., & Liu, J. (2018). Admixtures and sustainability. *Cement and Concrete Research*, 114, 79–89.
<https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2017.04.011>



- Cordero, G., Cárdenas Javier, & Rojas, J. (2018). *Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI* (Primera). Ecoe Ediciones.
- Costos. (2024). Suplemento técnico noviembre 2024. *Costos: Suplemento Técnico*.
- Cuesta, L., & Patiño, H. (2022). *Análisis de precios unitarios de una obra civil*. Universidad Católica de Colombia.
- Depuno.com. (2025). *Mapas de Puno guía de la ciudad de Puno*.
<https://depuno.com/mapas/>
- Devi, K., Kumar, A., Saini, B., & Aggarwal, P. (2024). Environmental Assessment of Admixtures and Stone Powder in Cement Concrete. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 381, 885–892. https://doi.org/10.1007/978-3-031-39663-2_74
- Dorn, T., Blask, O., & Stephan, D. (2022). Acceleration of cement hydration – A review of the working mechanisms, effects on setting time, and compressive strength development of accelerating admixtures. *Construction and Building Materials*, 323, 126554.
<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.126554>
- Flores Tapia, C. E., & Flores Cevallos, K. L. (2021). *Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darling, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov*.
<https://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/index.html>
- González-Aviña, J. V, López Yépez; L G, & Durán-Herrera, A. (2022). Estado del desarrollo y aplicaciones de la tecnología del concreto. *Ciencia Nicolaita*, 85, 27–43. <https://doi.org/10.35830/CN.VI85.619>
- Gutiérrez de López, L. (2003). *Concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.



- Hernández, C., Fernández, R., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Mc Graw Hill, Vol. 6).
- Huamaní, D., & Solon, L. (2019). *Influencia de los aditivos acelerantes de fragua sobre la resistencia a la compresión y tiempo de fraguado de un concreto realizado bajo clima cálido Trujillo, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23228>
- Huaraca Gamboa, J. L. (2021). *Influencia de la aplicación del aditivo acelerante de resistencia temprana en las propiedades del concreto* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/22232>
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2002). *Terminología del cemento y del concreto ACI 116R-00* (1.^a ed.). Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). *CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico con aguja Vicat* (NTP 334.006). INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2022). *Concreto. Concreto premezclado. Requisitos* (NTP 339.114). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2018a). *Agregado. Agregados para concreto. Requisitos* (NTP 400.037). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2018b). *Cementos. Método de ensayo para determinar la densidad del cemento Pórtland* (NTP 334.005). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2019). *Concreto. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto* (NTP 339.046). INACAL.



Instituto Nacional de la Calidad. (2020a). *Agregados. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo* (NTP 400.021). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2020b). *Agregados. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados* (NTP 400.017). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2020c). *Cementos. Cementos hidráulicos adicionados. Requisitos* (NTP 334.090). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2020d). *Cementos. Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño* (NTP 334.082). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2020e). *Cementos. Cementos pórtland. Requisitos* (NTP 334.009). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2021a). *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo* (NTP 400.012). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2021b). *Agregados. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo* (NTP 339.185). INACAL.

Instituto Nacional de la Calidad. (2021c). *Cementos. Aditivos químicos para concreto. Especificaciones* (NTP 334.088). INACAL.

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

Instituto Nacional de la Calidad. (2021e). *Concreto. Elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. Práctica* (NTP 339.033). INACAL.



- Instituto Nacional de la Calidad. (2022). *Concreto. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo* (NTP 339.035). INACAL.
- Instituto Nacional de la Calidad. (2024). *Agregados. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo* (NTP 400.022). INACAL.
- Juchani Lauracio, A. F. (2020). *Estudio del concreto con aditivo acelerante en polvo, utilizando cemento Pórtland tipo I* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/21723>
- Kosmatka, S. H., Kerkhott, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de concreto* (1.^a ed.). Portland Cement Association.
- Lemus Alvarado, J. A. (2021). *Influencia de 2 aditivos acelerantes en el proceso de fraguado y la resistencia, en una mezcla de concreto utilizando cemento Portland modificado tipo I* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15935/>
- López Ampuero, E., & Mamani Copari, J. J. (2017). *Influencia del nanosílice y superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo de la ciudad de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4955>
- Luzuriaga Jaramillo, H. A., Espinosa Pinos, C. A., Haro Sarango Alexander Fernando, & Ortiz Román, H. D. (2023). Histograma y distribución normal: Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov aplicado en SPSS: Histogram and normal distribution: Shapiro-Wilk and Kolmogorov Smirnov applied in SPSS. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y*



Humanidades, 4(4), 596-607–596– 607.

<https://doi.org/10.56712/LATAM.V4I4.1242>

Mamani Ari, J. O. (2024). *Influencia de aditivos acelerantes de fragua en la resistencia a la compresión en concretos elaborados con cementos Portland Tipo I y IP, Puno 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23777>

Mantallana Rodríguez, R. (2019). *El concreto fundamentos y nuevas tecnologías* (Corona, Ed.).

Marín Vargas, K. N. (2024). *Resistencia a compresión del concreto $f'c = 210$ kg/cm² utilizando 1 % de Sikament-290 N y 3 % de SikaCem acelerante Pe en diferentes edades* [Tesis de pregrado, Universidad nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/7368>

Mather, B., & Ozyildirim, C. (2004). *Cartilla del Concreto* (5.^a ed.). Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.

Medina Vázquez, U. (2001). *Efectos del aditivo acelerante del fraguado sobre las propiedades del concreto preparado con cemento Portland tipo I* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/16546>

Mejía, S., & Paz, J. (2013). *Comportamiento de un concreto de resistencia de 210 kg/cm² utilizando el aditivo Sika Rapid 1 como acelerador de fraguado* [Tesis de grado, Universidad Rafael Urdaneta - Venezuela].
<https://documentos.uru.edu/pdf/2301-13-05894.pdf>

Montoya, Y., Cadavid, A., & Gómez, M. A. (2009). Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento portland gris tipo III con aditivos. *Revista EIA*, 11, 39–49.



http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372009000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Mora-Cuenca, J. N., Zamora-Cobeña, Á. A., & Ruiz-Párraga, W. E. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas de hormigones de $f'c=21\text{MPa}$, aplicando aditivos retardantes y acelerantes. *Polo Del Conocimiento*, 8(12), 1347–1365. <https://doi.org/DOI:10.23857/pc.v8i12.6348>
- Neville, A. M. (2010). *Concrete technology* (Second Edition). Pearson Education Limited.
- Nina Torres, B. S., & Condori Quispe, E. E. (2018). *Evaluación e influencia de los aditivos acelerantes de fragua y endurecimiento en especímenes de concreto usando cemento tipo IP en la ciudad de Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/556>
- Núñez Aroni, L. O., & Mamani Huaynillo, F. A. (2018). *Influencia del polipropileno y los aditivos incorporadores de aire sometido al congelamiento en las propiedades del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, en la zona altiplánica 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://www.repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8953?show=full>
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & 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(2), 161–172. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>
- Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto* (2.^a ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.
- Picasso, J. (2013). *Presupuestos de obra* (1.^a ed.). Creative Commons.



- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño (High performance concrete)* (Primera).
- Quispe, J., & Mosqueira, C. (2022). *Estudio del diseño de mezcla con cemento tipo HE y diseño de mezcla con aditivo Z fragua # 5 para acelerar la resistencia inicial a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac].
<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1144>
- Ramos, J. (2015). *Costos y presupuestos en edificaciones* (1.^a ed.). Macro.
- Rivva, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. In *La Naturaleza Del Concreto* (Primera). ACI Perú.
- Rivva López, E. (2014). *Concreto Diseño de Mezclas* (ICG, Vol. 2).
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (Bhandar Editores Ltda., Ed.; Quinta).
- Santillán Riquelme, M. (2019). *Evaluación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c: 280 \text{ kg/cm}^2$ con aditivo Chema 3 utilizando cemento Pacasmayo tipo I y cemento Inka Ultra Resistente tipo ICo* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3029>
- Sika. (2014). *CONCRETO aditivos para concreto*.
- Sika. (2019). *SikaRapid-1 acelerante de resistencias iniciales libre de cloruros*.
https://per.sika.com/dam/dms/pe01/z/sikarapid_-1.pdf
- Solís, R. G., Hay, D. R., & Zaragoza, J. N. (2022). Effect of Accelerant Additives in Concrete with Limestone Aggregate in Warm Weather. *Journal of Building Construction and Planning Research*, 10(04), 140–154.
<https://doi.org/10.4236/JBCPR.2022.104007>



- Torres Alayo, J. C. (2004). *Estudio de la influencia de aditivos acelerantes sobre las propiedades del concreto* [Universidad Nacional de Ingeniería].
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/3097>
- Triola, M. F. (2009). *Estadística*. Pearson Educación.
- Valle Gómez, Q. (2018). *Influencia de tres aditivos acelerantes en el desarrollo de la resistencia a la compresión en un concreto $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ y 210 kg/cm^2 Chachapoyas-Amazonas 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1328>
- Vargas Salazar, C. I. (2021). *Estudio comparativo de la resistencia a la compresión a tempranas edades de un concreto $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$, modificado con aditivo Sika Cem acelerante Pe - Cajamarca 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4131>
- Vidaud, E., & Vidaud, I. (2014). Los aditivos químicos y su impacto en el medio ambiente. *Construcción y Tecnología En El Concreto*.
- Villanueva Jara, C. F. (2022). *Incidencias en el uso de aditivos acelerantes y retardantes en la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto, con agregados de la cantera "San Martín de Porres", Huacho-2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].
<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5444>
- Villegas Llicahua, D. (2023). *Análisis comparativo del efecto del aditivo acelerante en la calidad del concreto con cemento portland tipo Ico y Gu* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].
<http://hdl.handle.net/20.500.14076/25232>



Zárate Villavicencio, J. (2022). *Estudio del concreto con aditivo acelerante y cemento Portland tipo I* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/24838>



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Anexo 2. Constancia de ensayos de laboratorio.

Anexo 3. Certificado de calibración de equipos.

Anexo 4. Procedimiento de ensayos de agregados.

Anexo 5. Resultados del estudio de agregados.

Anexo 6. Diseño de mezclas.

Anexo 7. Resultados de las propiedades físicas del concreto fresco.

Anexo 8. Resultados de la resistencia a compresión.

Anexo 9. Resultados del tiempo de fraguado del cemento.

Anexo 10. Resultados del análisis de costos

Anexo 11. Ficha técnica de aditivos SikaRapid-1 y Per Rapid 10.

Anexo 12. Ficha técnica de cemento Yura tipo HS.

Anexo 13. Precio de los materiales

Anexo 14. Costo hora hombre 2024-2025 y otros.

Anexo 15. Panel fotográfico.

Anexo 16. Potencia de cantera y plano topográfico.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo HEBERT FRANCISCO QQUELCCA CHURATA,
identificado con DNI 75847134 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:
“ INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES DE RESISTENCIA EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN EN CONCRETOS
DE F’C=210 kg/cm², PUNO-2024. ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 26 de septiembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo HEBERT FRANCISCO QQUELCCA CHURATA,
identificado con DNI 75847134 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:

“ INFLUENCIA DE LA PROPORCIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES DE RESISTENCIA EN LAS
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y COSTO DE PRODUCCIÓN EN CONCRETOS
DE F´C=210 kg/cm², PUNO-2024. ”

para la obtención de **Grado**, **Título Profesional** o **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 26 de septiembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella