



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS TIPO C SEGÚN ASTM C494-17, DOSIFICACIÓN Y CURADO SOBRE LA COMPRESIÓN, TRABAJABILIDAD Y FRAGUADO EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO-2018

Tesis para optar el título profesional de:

**Titulado en Ingeniería Civil**

**Autor:**

Br. Will Diego Mauricio Lara Sánchez

**Asesor:**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú  
2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller Will Diego Mauricio Lara Sánchez, denominada:

**“INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS TIPO C SEGÚN ASTM C494-17,  
DOSIFICACIÓN Y CURADO SOBRE LA COMPRESIÓN, TRABAJABILIDAD Y  
FRAGUADO EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO-2018”**

---

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro  
**ASESOR**

---

Ing. Roxana Aguilar Villena  
**JURADO**  
PRESIDENTE

---

Ing. Wiston Azañedo Medina  
**JURADO**

---

Ing. Alberto Vásquez Díaz  
**JURADO**

## DEDICATORIA

*A **Dios**, por ser mi guía en cada momento de mi vida, dándome fuerzas para seguir adelante y cumplir cada una de mis metas.*

*A mis padres **Wilfredo Lara, Luisa Sánchez**, mis abuelos **Diego Sánchez, Sabina Terán** y mis hermanos **Arlex Lara y Kate Lara**; quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional.*

*Por sus enseñanzas, valores y principios que me han llevado a convertirme en una persona de bien.*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por protegerme durante todo este tiempo y permitirme superar cada obstáculo de mi vida, logrando alcanzar esta meta tan importante en mi carrera profesional.

A mis padres, en especial a mi madre Luisa Sánchez, por el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y enseñarme a no rendirme jamás, a ser perseverante para alcanzar todo lo que me proponga.

A mis abuelos Diego y Sabina, por apoyarme en todo momento y ser un ejemplo que seguir para la formación de mi persona.

A mis hermanos Kate y Arlex, por acompañarme en cada momento de mi vida, compartiendo alegrías y penas, demostrándome que siempre puedo contar con su apoyo y cariño sincero.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien ha sido pieza elemental en la culminación de esta investigación. Gracias por su amistad, conocimientos, orientación, paciencia, exigencia y motivación durante el desarrollo de la tesis.

A mis familiares y amistades, quienes siempre creyeron en mí, y me brindaron su apoyo para la culminación de esta investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DE LA TESIS .....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>15</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema .....	20
1.3. Justificación .....	20
1.4. Limitaciones .....	24
1.5. Objetivos.....	24
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>26</b>
2. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Antecedentes .....	26
2.1. Bases teóricas .....	30
2.1.1. Concreto.....	30
2.1.2. Componentes del concretos.....	33
2.1.3. Diseño de mezcla del concreto convencional .....	51
2.1.4. Propiedades del concreto.....	52
2.1.5. Control de calidad y medidas estadísticas.....	57
2.2. Hipótesis.....	58
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>59</b>
3. METODOLOGÍA .....	59
3.1. Operacionalización de variables.....	59
3.2. Diseño de investigación.....	60
3.3. Unidad de estudio .....	60
3.4. Población.....	60
3.5. Muestra.....	60
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	62
3.6.1. Técnica e Instrumento de recolección de datos.....	62
A. Materia prima.....	67
B. Caracterización física y química.....	69
C. Diseño de mezcla (ACI -211) .....	80
D. Ensayos del concreto en estado fresco .....	86
E. Ensayos del concreto en estado endurecido .....	91
F. Análisis de resultados .....	94

<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>99</b>
4. RESULTADOS.....	99
4.1. Caracterización de materia prima .....	99
4.1.1. Ensayo de agregados .....	99
4.1.2. Agua.....	101
4.2. Diseño de mezcla.....	102
4.3. Propiedades del concreto.....	102
4.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco: .....	103
4.3.1.1. Asentamiento (NTP 339.035/ASTM C143):.....	103
4.3.1.2. Tiempo de fraguado (NTP 339.082/ASTM C403):.....	104
4.3.1.3. Temperatura del concreto (NTP 339.184/ASTM C1064) .....	106
4.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido:.....	107
4.3.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034/ASTM C39): .....	107
4.4. Costos de elaboración del concreto por m <sup>3</sup> :.....	111
4.5. Evaluación económica de las alternativas:.....	112
<b>CAPITULO V</b> .....	<b>114</b>
5. DISCUSIÓN.....	114
5.1. Caracterización de la materia prima: .....	114
5.1.1. Agregado fino: .....	114
5.1.2. Agregado grueso: .....	118
5.1.3. Cemento:.....	120
5.1.4. Aditivos Tipo C (ASTM C494): .....	122
5.1.5. Agua Potable: .....	125
5.2. Diseño de mezcla:.....	125
5.3. Propiedades en estado fresco: .....	127
5.3.1. Consistencia: .....	127
5.3.2. Tiempo de fraguado:.....	130
5.3.3. Temperatura .....	137
5.4. Propiedades en estado endurecido .....	141
5.4.1. Resistencia a la compresión .....	141
5.5. Evaluación económica de los aditivos Tipo C .....	150
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>153</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>155</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>156</b>
<b>APÉNDICE</b> .....	<b>161</b>
APÉNDICE 1: Verificación de la contrastación de hipótesis .....	161
APÉNDICE 2: Caracterización de agregados .....	164
APÉNDICE 3: Resultado de los ensayos en estado fresco y endurecido. ....	172
<b>ANEXOS</b> .....	<b>189</b>
ANEXO 1: Panel fotográfico: .....	189

ANEXO 2: Curvas logarítmicas de Fraguado:.....	195
ANEXO 3: Certificado de ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo .....	205
ANEXO 4: Certificado de ensayos en la Universidad Privada del Norte .....	206
ANEXO 5: Solicitud de aditivo MasterSet AC 534 a empresa BASF. ....	207
ANEXO 6: Ficha Técnica de aditivo acelerante de fragua MasterSet AC534:.....	208
ANEXO 7: Ficha Técnica de aditivo acelerante de fragua Chema 3:.....	210
ANEXO 8: Ficha Técnica de aditivo acelerante de resistencias Sika Rapid-1: .....	212
ANEXO 9: Ficha Técnica del cemento portland Tipo Ico:.....	214
ANEXO 10: Costo del cemento portland tipo Ico en tienda Maestro .....	215
ANEXO 11: Costo de hora hombre y día hombre en edificación. ....	216
ANEXO 12: Normativa utilizada en el desarrollo experimental .....	217
ANEXO 13: Certificado de calibración de balanza electrónica. ....	228
ANEXO 14: Certificado de calibración de máquina de compresión. ....	232

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los agregados según su tamaño. (Rivera L. Gerardo, 2013) .....	34
Tabla 2: Clasificación de los agregados según su masa unitaria. (Rivero L. Gerardo, 2013) .....	35
Tabla 3: Clasificación de la partícula del agregado según su forma. (Rivera L. Gerardo, 2013).....	36
Tabla 4: Clasificación de la partícula del agregado según su textura. (Rivera L. Gerardo, 2013) ...	36
Tabla 5: Composición química del cemento portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2014).....	41
Tabla 6: Compuestos principales del cemento portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2014).....	41
Tabla 7: Composición típica de los cementos portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2015) .....	42
Tabla 8: Límite permisible para agua de mezcla y de curado. (NTP 339.088, 2006) .....	45
Tabla 9: Clasificación de los aditivos. (ASTM C494, 2017) .....	46
Tabla 10: Efecto de componentes químicos de los acelerantes. (SIKA, 2015) .....	50
Tabla 11: Ensayos y límites para la consistencia del concreto. (Carrasco, 2013) .....	54
Tabla 12: Matriz de operacionalización de variables. ....	59
Tabla 13: Matriz de diseño experimental para propiedades del concreto en estado fresco. ....	64
Tabla 14: Matriz de diseño experimental para propiedades del concreto en estado endurecido. ...	65
Tabla 15: Requisitos para los aditivos Tipo C. (NTP 334.088/ASTM C494).....	68
Tabla 16: Esquema del análisis granulométrico del agregado fino. ....	69
Tabla 17: Límites granulométricos del agregado fino. (NTP 400.037/ ASTM C33) .....	70
Tabla 18: Esquema del análisis granulométrico del agregado grueso. ....	71
Tabla 19: Límite granulométrico del agregado grueso (1/2"). (NTP 400.037/ASTM C33) .....	71
Tabla 20: Esquema del contenido de humedad de los agregados.....	73
Tabla 21: Densidad del agua según la temperatura.....	74
Tabla 22: Esquema del volumen del molde de peso unitario.....	75
Tabla 23: Esquema de peso unitario suelto y compactado de los agregados.....	75
Tabla 24: Esquema de peso específico y absorción del agregado fino.....	77
Tabla 25: Esquema de peso específico y absorción del agregado grueso.....	78
Tabla 26: Esquema de composición química del agregado fino y grueso.....	79
Tabla 27: Esquema de composición química del agua. ....	80
Tabla 28: Asentamiento recomendado según el tipo de construcción. (ACI-211,2002).....	80
Tabla 29: Consideraciones según el tamaño máximo del agregado. (ACI-211,2002) .....	81
Tabla 30: Elección del agua de mezclado según el TMN y asentamiento. (ACI-211, 2002).....	81
Tabla 31: Contenido de aire en el concreto según TMN. (ACI-211, 2002).....	81
Tabla 32: Esfuerzo a la compresión corregida o promedio según f'c. (ACI-211).....	82
Tabla 33: Relación agua/cemento según f'c. (ACI-211,2002).....	82
Tabla 34: Peso volumétrico del agregado grueso según el M.F y TMN (b/b <sub>0</sub> ). (ACI-211,2002) .....	83
Tabla 35: Diseño de mezcla final.....	85
Tabla 36: Diseño de mezcla con adición de aditivo Tipo C.....	85
Tabla 37: Esquema del ensayo de consistencia. ....	87
Tabla 38: Esquema del cálculo de ecuación logarítmica según método de mínimos cuadrados. ...	89
Tabla 39: Esquema de ensayo de tiempo de fraguado. ....	90
Tabla 40: Esquema de ensayo de resistencia a la compresión. ....	94
Tabla 41: Características del agregado fino.....	99
Tabla 42: Composición del agregado fino.....	99
Tabla 43: Características del agregado grueso.....	100
Tabla 44: Composición del agregado grueso.....	101
Tabla 45: Características de los agregados para el diseño de mezcla. ....	101
Tabla 46: Requisitos químicos del agua. ....	101
Tabla 47: Diseño de mezcla general. ....	102
Tabla 48: Resumen de los parámetros ensayados al concreto .....	102
Tabla 49: Asentamiento promedio y sus medidas estadísticas. ....	103
Tabla 50: Tiempo de fraguado inicial promedio y sus medidas estadísticas. ....	104
Tabla 51: Tiempo de fraguado final promedio y sus medidas estadísticas. ....	105
Tabla 52: Temperatura del concreto promedio. ....	106
Tabla 53: Resistencia promedio a los 3 días y sus medidas estadísticas. ....	107
Tabla 54: Resistencia promedio a los 7 días y sus medidas estadísticas. ....	108

Tabla 55: Resistencia promedio a los 14 días y sus medidas estadísticas. ....	109
Tabla 56: Resistencia promedio a los 28 días y sus medidas estadísticas. ....	110
Tabla 57: Costo por m <sup>3</sup> del concreto convencional y con adiciones de aditivos Tipo C. ....	111
Tabla 58: Tiempo de desencofrado según la temperatura. (Díaz Lozano, 2008) .....	113
Tabla 59: Ahorro de los aditivos Tipo C en la construcción. ....	113
Tabla 60: Características del agregado fino. ....	114
Tabla 61: Características del agregado grueso. ....	118
Tabla 62: Propiedades físicas del cemento Ico. (Cementos Pacasmayo, 2017) .....	121
Tabla 63: Características del aditivo Sika Rapid-1. ....	123
Tabla 64: Características del aditivo Chema 3. ....	123
Tabla 65: Características del aditivo MasterSet AC534. ....	124
Tabla 66: Cantidades de los aditivos Tipo C. ....	124
Tabla 67: Tiempo de fraguado del concreto según su temperatura. (BASF, 2006) .....	134
Tabla 68: Contratación de hipótesis para compresión. ....	162
Tabla 69: Contratación de hipótesis para el fraguado. ....	163
Tabla 70: Contratación de hipótesis para la consistencia o trabajabilidad. ....	163
Tabla 71: Ensayo granulométrico del agregado fino. ....	164
Tabla 72: Ensayo granulométrico del agregado grueso. ....	165
Tabla 73: Medidas estadísticas para granulometría del agregado fino. ....	166
Tabla 74: Medidas estadísticas para granulometría del agregado grueso. ....	167
Tabla 75: Volumen del molde para peso unitario suelto y compactado de los agregados. ....	167
Tabla 76: Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados. ....	168
Tabla 77: Medidas estadísticas para peso unitario suelto y compactado de los agregados. ....	168
Tabla 78: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino. ....	169
Tabla 79: Medidas estadísticas para peso específico y absorción del agregado fino. ....	169
Tabla 80: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. ....	170
Tabla 81: Medidas estadísticas para peso específico y absorción del agregado grueso. ....	170
Tabla 82: Ensayo de contenido de humedad de los agregados. ....	171
Tabla 83: Medidas estadísticas para el contenido de humedad de los Agregados. ....	171
Tabla 84: Ensayo de asentamiento. ....	172
Tabla 85: Ensayo de temperatura. ....	174
Tabla 86: Ensayo de tiempo de fraguado. ....	176
Tabla 87: Resistencia a compresión a 3 días de curado. ....	181
Tabla 88: Resistencia a compresión a 7 días de Curado. ....	183
Tabla 89: Resistencia a compresión a 14 días de curado. ....	185
Tabla 90: Resistencia a compresión a los 28 días de curado. ....	187

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Campos de aplicación del concreto. (Cementos Pacasmayo, 2015) .....	32
Figura 2: Esquematización del peso volumétrico. (Gutiérrez López, 2010) .....	38
Figura 3: Grados de humedad de las partículas de los agregados. (Gómez Domínguez, 2014) ....	39
Figura 4: Cemento tipo Ico. (Cementos Pacasmayo, 2015) .....	44
Figura 5: Empresas que fabrican aditivos Tipo C en el Perú. ....	50
Figura 6: Ensayo de trabajabilidad o consistencia. (Carrasco, 2013) .....	53
Figura 7: Curva resistencia a la penetración sobre tiempo. (Carrasco, 2013) .....	55
Figura 8: Área de contacto permitida para penetraciones. (NTP 339.082/ASTM C403) .....	55
Figura 9: Probeta para ensayo a compresión .....	61
Figura 10: Probeta para ensayo del tiempo de fraguado. ....	61
Figura 11: Probeta para ensayo de consistencia. ....	62
Figura 12: Proceso experimental .....	66
Figura 13: Curva logarítmica de resistencia a la penetración. (ASTM C403, 2013) .....	90
Figura 14: Curva granulométrica del agregado fino .....	115
Figura 15: Curva granulométrica del agregado grueso .....	119
Figura 16: Proporciones del diseño de mezcla para 1 m <sup>3</sup> .....	126
Figura 17: Asentamiento de la mezcla patrón. ....	127
Figura 18: Asentamiento de las mezclas con aditivos acelerantes Tipo C. ....	128
Figura 19: Asentamiento de las mezclas con aditivo en su porcentaje óptimo. ....	129
Figura 20: Formación de las fases hidratadas. (Locher/Richartz/Sprung, 2006) .....	131
Figura 21: Etapas del fraguado en el concreto. (Beltrán Romero, George, 2016) .....	132
Figura 22: Efecto de la temperatura y aditivos tipo C en el fraguado. (BASF, 2006) .....	133
Figura 23: Resistencia a la penetración de la mezcla patrón. ....	135
Figura 24: Tiempo de fraguado inicial de las mezclas con aditivos Tipo C. ....	135
Figura 25: Tiempo de fragua final de las mezclas con aditivo Tipo C. ....	136
Figura 26: Evolución del calor de hidratación del cemento. (La Torre Oyamel Verónica, 2009) ...	138
Figura 27: Etapas de la hidratación del cemento. (La Torre Oyanadel Verónica, 2006) .....	139
Figura 28: Temperatura de las mezclas con aditivos Tipo C en su dosis óptima. ....	139
Figura 29: Modo de acción de los acelerante de fragua. (SIKA, 2015) .....	142
Figura 30: Modo de acción de los acelerantes de resistencias. (SIKA, 2015) .....	143
Figura 31: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 3 días de curado. ....	144
Figura 32: Incremento porcentual del concreto con aditivos Tipo C a los 3 días de curado .....	145
Figura 33: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 7 días de curado. ....	147
Figura 34: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 14 días de curado. ...	147
Figura 35: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 28 días de curado. ...	149
Figura 36: Resistencias a diferentes días de curado para mezclas con aditivos Tipo C. ....	149
Figura 37: Evaluación de costos por m <sup>3</sup> del concreto con aditivos Tipo C .....	151
Figura 38: Ahorro de los aditivos Tipo C en las edificaciones. ....	152
Figura 39: Análisis granulométrico de los agregados. ....	189
Figura 40: Peso específico y absorción del agregado fino y grueso. ....	189
Figura 41: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso .....	190
Figura 42: Contenido de humedad de los agregados. ....	190
Figura 43: Ensayos químicos de los agregados y del agua de mezcla. ....	191
Figura 44: Elaboración y tamizado de la mezcla de concreto convencional. ....	191
Figura 45: Ensayo de consistencia. ....	192
Figura 46: Penetrómetro y accesorios para ensayo de tiempo de fraguado. ....	192
Figura 47: Ensayo de temperatura. ....	192
Figura 48: Ensayo de tiempo de fraguado. ....	193
Figura 49: Refrendado de probetas cilíndricas. ....	193
Figura 50: Ensayo de resistencia a la compresión. ....	194
Figura 51: Aditivos Tipo C .....	194
Figura 52: Curva de fraguado patrón (0%). ....	195
Figura 53: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 1% .....	195
Figura 54: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 2% .....	196

Figura 55: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 3% .....	196
Figura 56: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 4% .....	197
Figura 57: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 5% .....	197
Figura 58: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 6% .....	198
Figura 59: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 1%.....	198
Figura 60: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 2%.....	199
Figura 61: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 3%.....	199
Figura 62: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 4%.....	200
Figura 63: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 5%.....	200
Figura 64: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 6%.....	201
Figura 65: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 1% .....	201
Figura 66: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 2% .....	202
Figura 67: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 3% .....	202
Figura 68: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 4% .....	203
Figura 69: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 5% .....	203
Figura 70: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 6% .....	204

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Módulo de finura .....	69
Ecuación 2: Porcentaje retenido .....	71
Ecuación 3: Porcentaje retenido acumulado .....	72
Ecuación 4: Porcentaje que pasa .....	72
Ecuación 5: Contenido de humedad .....	72
Ecuación 6: Peso unitario suelto .....	73
Ecuación 7: Peso unitario compactado .....	74
Ecuación 8: Volumen .....	74
Ecuación 9: Densidad seca del agregado fino .....	76
Ecuación 10: Densidad saturada superficialmente seca del agregado fino .....	76
Ecuación 11: Densidad aparente del agregado fino .....	76
Ecuación 12: Absorción del agregado fino .....	76
Ecuación 13: Densidad seca del agregado grueso .....	77
Ecuación 14: Densidad saturada superficialmente seca del agregado grueso .....	78
Ecuación 15: Densidad aparente del agregado grueso .....	78
Ecuación 16: Absorción del agregado grueso .....	78
Ecuación 17: Porcentaje de diseño de mezcla .....	85
Ecuación 18: Volumen de diseño de mezcla .....	85
Ecuación 19: Ecuación logarítmica para tiempo de fraguado .....	88
Ecuación 20: Ecuación potencial para tiempo de fraguado .....	88
Ecuación 21: Coeficiente A según método de mínimos cuadrados .....	89
Ecuación 22: Coeficiente B según método de mínimos cuadrados .....	89
Ecuación 23: Esfuerzo a compresión .....	93
Ecuación 24: Área .....	93
Ecuación 25: Media aritmética o promedio .....	94
Ecuación 26: Varianza .....	95
Ecuación 27: Desviación estándar .....	95
Ecuación 28: Coeficiente de variación .....	95
Ecuación 29: Volumen de concreto por m <sup>2</sup> de losa aligerada .....	112

## RESUMEN

El sector construcción es sin lugar a duda el principal promotor del desarrollo de las ciudades y países en todo el mundo, sin embargo, a pesar de su rápido crecimiento la sociedad exige un mayor progreso de estas, a medida que se incrementa la población, se requieren una mayor cantidad de estructuras en menores plazos de obra. La presente tesis plantea la utilización de los aditivos Tipo C como una alternativa de adición al concreto, mejorando las propiedades en estado fresco (Trabajabilidad, Temperatura y Tiempo de Fraguado) y endurecido (Resistencia a la Compresión).

Para el desarrollo de la tesis se utilizó cemento tipo Ico, agregado grueso de tamaño máximo nominal  $\frac{1}{2}$ ", agregado fino de módulo de finura 2.6 para un diseño de mezcla ACI-211 de concreto de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, con relación agua/cemento de 0.61. Se adicionó a la mezcla de concreto convencional aditivos Tipo C sin cloruros en dosis del 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% respecto al peso del cemento, los cuales dos fueron acelerantes de fragua (Chema 3 y MasterSet AC534) y uno acelerantes de resistencias (Sika Rapid-1).

Se desarrolló los ensayos en estado fresco de trabajabilidad y tiempo de fraguado según la ASTM C143 y ASTM C403 respectivamente. Para la propiedad en estado endurecido se elaboraron 252 testigos cilíndricos de concreto de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, los cuales fueron ensayados a 3, 7, 14 y 28 días de curado bajo las Normas ASTM C31 y ASTM C39.

Al concluir la investigación, se determinó que los porcentajes óptimos de los aditivos Tipo C MasterSet AC534 es del 3%, Sika Rapid-1 del 1% y Chema 3 del 3%, obteniendo el aditivo MasterSet AC534 un incremento de la resistencia del 25.2% a los 3 días, 16.8% a los 7 días, 9.8% a los 14 días, 4.9% a los 28 días, reducciones en el tiempo de fragua inicial y final de 84 y 120 minutos respectivamente y un crecimiento de la temperatura de 5.4 °C en 6 horas; el MasterSet AC534 fue el aditivo que presentó los mejores resultados. Por otro lado, los aditivos Sika Rapid-1 y Chema 3 alcanzaron un aumento de la resistencia a los 3 días de 17% y 16.3% respectivamente, demostrando finalmente que el aditivo MasterSet AC534 es el único que cumple con los requisitos de la ASTM C494 para esta investigación, teniendo como requisitos un incremento mínimo a los 3 días del 25%, a los 7, 14 y 28 días mantener su resistencia patrón y reducciones de 60 minutos como mínimo para el fraguado inicial y final.

## ABSTRACT

The construction sector is undoubtedly the main promoter of the development of cities and countries throughout the world, however, despite its rapid growth society requires greater progress of these, as the population increases, they require a greater number of structures in shorter construction periods. This thesis proposes the use of Type C additives as an alternative to addition to concrete, improving the properties in fresh state (Workability, Temperature and Time of Setting) and hardened (Compression Resistance).

For the development of the thesis, Ico-type cement, coarse aggregate of maximum nominal size  $\frac{1}{2}$ ", fine aggregate of fineness modulus 2.6 was used for an ACI-211 concrete mixture design of  $f'c = 210$  kg / cm<sup>2</sup>, with relation water / cement 0.61. Type C additives without chlorides were added to the conventional concrete mixture in doses of 1%, 2%, 3%, 4%, 5% and 6% with respect to the weight of the cement, which two were accelerators of forge (Chema 3 and MasterSet AC534) and one resistor accelerator (Sika Rapid-1).

The tests were carried out in a fresh state of workability and setting time according to ASTM C143 and ASTM C403 respectively. For the property in the hardened state, 252 cylindrical concrete witnesses of 10 cm in diameter and 20 cm in height were prepared, which were tested at 3, 7, 14 and 28 days of curing under the ASTM C31 and ASTM C39 Standards.

At the conclusion of the research, it was determined that the optimum percentages of the Type C additives MasterSet AC534 is 3%, Sika Rapid-1 of 1% and Chema 3 of 3%, obtaining the additive MasterSet AC534 an increase in resistance of 25.2% at 3 days, 16.8% at 7 days, 9.8% at 14 days, 4.9% at 28 days, reductions in the initial and final setting time of 84 and 120 minutes respectively and a temperature increase of 5.4 ° C in 6 hours; the MasterSet AC534 was the additive that presented the best results. On the other hand, Sika Rapid-1 and Chema 3 additives reached an increase in resistance at 3 days of 17% and 16.3% respectively, finally demonstrating that the MasterSet AC534 additive is the only one that meets the requirements of ASTM C494 for this investigation, having as requirements a minimum increase at 3 days of 25%, at 7, 14 and 28 days to maintain its resistance pattern and reductions of at least 60 minutes for the initial and final setting.

## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1. Realidad problemática

Desde hace varios años la economía en el mundo afronta un conjunto de incógnitas, las cuales están relacionadas con el desarrollo de los países. Una de las actividades económicas más importantes en el mundo es el Sector Construcción, ya que con el transcurrir de los años ha sido una unidad de medición de bienestar económico. Actualmente el último análisis mundial del Sector Construcción, pronostica que a largo plazo la producción mundial aumentará en un 85% hasta el 2030, potenciado principalmente por países como China, India y Estados Unidos, los cuales simbolizan un 57% (Saez, 2016). En los países de Latinoamérica, el sector construcción continúa creciendo, destacando países como, Panamá con un 5,6% y Republica Dominicana con 5.3% (BBC, 2017).

El crecimiento de la construcción cada vez es mayor, de modo que genera un gran incremento del uso del concreto, por lo que este juega un papel importante en la economía del mundo, para lo cual se debe tener en cuenta un control de calidad, por esta razón el concreto atraviesa por diversas pruebas, tanto para sus propiedades físicas como mecánicas, las cuales son de vital importancia para obtener un concreto de buena calidad según el tipo de construcción a realizar (Belletich, 2016).

En Estados Unidos el uso del concreto cada año tiene un avance tecnológico mayor, está requiere el uso de estructuras con distintas características, por ello se generan el uso de otros materiales que al mismo tiempo trabajen en conjunto con el concreto para alcanzar mejores propiedades; además, cuentan con un estudio intensivo del concreto el cual es reflejado en las Normas ACI y ASTM, las cuales indican Normas para ensayos y materiales, calidad, requisitos mínimos de resistencia, análisis y diseño, entre otros. Además, se sabe que el tiempo de fraguado del concreto se rige por la ASTM C 403. (American Concrete Institute, 2010).

En países como México el control de calidad del concreto es un aspecto principal, evaluado mediante distintas pruebas de resistencia, para lo cual se deben cumplir requerimientos mínimos según el tipo de construcción; según la Norma Mexicana NMX C403 "Concreto hidráulico para uso estructural", indica una evaluación del concreto en estado fresco y endurecido, también requerimientos mínimos como una resistencia a compresión de 20 MPa a 28 días. Otro aspecto importante es el tiempo de fraguado para mezclas de concreto el cual se efectúa mediante la resistencia a la penetración conforme a la Norma Mexicana NMX-C-177-1997 ONNCCE (Instituto Mexicano del Concreto y del Cemento, 2008).

El diseño de mezcla del concreto en Colombia se realiza con el fin de determinar proporciones del concreto que cumplan con las características deseadas, el cual debe ser diseñado para cumplir principalmente pruebas de resistencia, según el NTC el concreto debe ser evaluado por resistencia a la compresión, tensión y tracción; además medir si se encuentra en el rango requerido; otro ensayo importante es el ensayo de tiempo de fragua el cual se mide a través de la NTC 890 (CEMEX, 2014). De esta forma es como el sector construcción tiene un avance significativo conforme pasan los años, así también ocurre en nuestro país, ya que, conforme al INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) a partir del siglo XX el Perú ha sostenido un crecimiento económico, originando un fuerte aumento de la demanda del sector construcción, potenciado sobre todo por las fuertes inversiones tanto públicas como privadas y el incremento de los ingresos económicos en los hogares, ambas, en efecto de las mejoras para la adquisición de viviendas y del crecimiento económico, las cuales, como consecuencia de un mercado muy exigente han mejorado el nivel de calidad de las construcciones tales como: viviendas, represas, reservorios, puentes entre otros tipos de construcciones. Además, el Banco Central de Reserva (BCR) elevó al alza su proyección de crecimiento del sector construcción en un 8% para el año 2018, impulsado por actividades principalmente relacionadas a la Reconstrucción (ANDINA, 2017).

En el Perú, el sector construcción ha mostrado un desarrollo bastante elevado en los últimos 16 años. Desde el año 2002 el sector construcción ha obtenido un incremento considerable, el cual crece a tasas superiores al 10%. Tal es el caso que desde el año 2006 al 2010 se obtuvieron tasas superiores al 14.5%, no obstante, en el año 2009 consiguió una tasa del 6.1% ocasionada por la crisis financiera presentada ese año. Sin embargo, a partir del año 2010 dicha tasa siguió decreciendo de manera pausada, a pesar de eso las tasas anuales siguieron manteniendo valores cercanos al 10% (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

La expansión del Sector Construcción y la industria del cemento van en conjunto. Por ello, que el incremento positivo del sector construcción se debe al aumento del consumo interno de cemento en 6.59% en el mes de octubre. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2017).

El concreto es un material el cual está diseñado para cargas a compresión, flexión y tracción. Existen diversas alternativas de acuerdo con las aplicaciones requeridas como: convencional, plastificado (bombeado), Autocompactante, Rheoplástico, Durable, Resistencia acelerada, Fibroreforzado, los cuales mejoran una propiedad o se adaptan a las necesidades. (Cementos Pacasmayo, 2015). El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes, el cual se usa para cimentaciones,

Columnas, Placas, Aligerados, Muros de Contención, Prefabricados, etc. (Unión de Concreteras, 2013).

Las estructuras de concreto son definidas como estructuras muy duraderas y que requieren de muy poco mantenimiento. Sin embargo, uno de los problemas más importantes para el mantenimiento de la integridad estructural de obras civiles como: puentes, túneles, carreteras, edificaciones etc., son los fenómenos de envejecimiento y deterioro a causa de acciones físicas, mecánicas, químicas o biológicas. (Zamora, Hurtado, 2012).

Las construcciones en el Perú actualmente sufren diferentes fallas, ya que estas están expuestas a diferentes factores climáticos, sísmicos los cuales, sumados a deficientes procesos constructivos, falta de supervisión, lentos avances de obra e incumplimientos mínimos de resistencia generan edificaciones defectuosas. (La República, 2010)

En los últimos años, en el Perú, se ha incrementado la actividad del sector construcción principalmente por programas de vivienda los cuales son promovidos por el estado y a la gran inversión de empresas privadas, ya sea nacionales o extranjeras. Sin embargo, este crecimiento no ratifica que las construcciones hayan alcanzado un nivel óptimo. En las construcciones durante la etapa de concepción, diseño y especialmente en la etapa de construcción, existen dificultades que producen pérdidas económicas, ya sea incumplimientos de metas o demoras en la entrega del proyecto, las cuales afectan directamente al contrato pactado en las licitaciones, por lo que para librarse de dichas disconformidades se usa concreto con aditivos, los cuales mejoran sus propiedades y disminuyen el tiempo de la obra evitando pérdidas económicas. (Garay Pichardo, Quispe Cotrina, 2016). Además, se sabe que la entidad pública que controla los trabajos efectuados y el avance de obra es el Organismo supervisor de contrataciones del Estado (OSCE), es la encargada de velar por la perfecta ejecución de las construcciones para el estado.

Actualmente, en la ciudad de Trujillo las construcciones presentan diversos tipos de problemas, uno de ellos es el incumplimiento del calendario de obra. Esto se debe a distintas causas generadas por la deficiente planeación de obra, cambios climáticos, movimientos sísmicos, mala programación de obra, costos, retrasos en las partidas u otros imprevistos que se puedan suscitar en la ejecución de la obra. (Barboza Huemura, Piminchumo Leyton, 2013)

En los últimos años, se ha presentado un alto índice e inobservancia de los plazos pactados, los cuales han generado que la mayoría de las constructoras incrementen su presupuesto planteado inicialmente, viéndose afectadas por multas impuestas por el estado, debido a atrasos en las construcciones. Así mismo se sabe que toda empresa busca disminuir costos y obtener mayores beneficios económicos, los cuales en su mayoría se logran reduciendo

el tiempo de obra y a la vez el presupuesto. (Vilca Chunga, Castillo Lujan, Dominguez Roldan, y Linares Cueva, 2012).

Otro de los elementos en consideración que ha ocasionado un desarrollo de la construcción en la ciudad de Trujillo es el incremento de la población, en los últimos años se ha potenciado bastante, promoviendo un mayor movimiento comercial y a la vez social, generando construcciones de colegios, universidades, mall, entre otros, por lo que no solo favorece a la ciudad sino también al sector construcción. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

La eficiencia de los aditivos depende de factores como el tipo, marca, cantidad de material cementante, contenido de agua, granulometría, forma, proporción de los agregados, tiempo de mezclado y la temperatura del concreto. (Vivar, Gusukuma y Chávez, 2016)

Según el ingeniero Pasquel (2016), pastpresident del Capítulo Peruano de American Concrete Institute, indicó que el concreto en estado natural es un material limitado que se mantiene fresco durante un limitado tiempo, también indico que el uso de aditivos depende de la propiedad que uno requiere modificar, los agentes climáticos y el tiempo que quiere que dicha propiedad cambie, ya que para requerir resistencias a temprana edad es necesario el uso de acelerantes, además menciona que las propiedades pueden variar según la aplicación de aditivos con respecto al peso del cemento desde 0.1% hasta el 5% según aplicaciones, para las cuales no hay dosis fijas y dependiendo del tipo de cemento que uno use.

De acuerdo con el Ingeniero Gómez (2016), de Sika Perú nos dice que los acelerantes pueden conseguir grandes resistencias iniciales y aceleración del tiempo de fraguado, desmoldando estructuras en menos días, siendo su principal función liberar estructuras más rápido, acortando el tiempo de construcción.

También el ingeniero Hugo Bocanegra (2016), gerente de SACOSI, afirmó que el uso de acelerantes debe ser medido porque se puede alcanzar mayores resistencias iniciales, pero después puede bajar por lo que se debe tener cuidado.

Al emplear los aditivos Tipo C según la ASTM C494 en el concreto, estos aumentan su resistencia inicial y genera un endurecimiento en un menor tiempo, es muy importante buscar soluciones a los problemas de pérdidas económicas generadas por las demoras en el desencofrado de estructuras y prolongación del tiempo de la obra, *Fuente: Autor (2018)*

En nuestro país existen diversas distribuidoras de aditivos acelerantes para el concreto tales como Sika, Chema, Z aditivos, Química Suiza y Basf, las cuales son las marcas más

conocidas en el mercado. Estas empresas al utilizar el aditivo acelerante en el concreto a una dosificación óptima generan grandes incrementos de resistencia inicial y tiempo de fraguado. Cabe recalcar que las empresas que tienen una mayor distribución de los aditivos para el concreto son CHEMA S.A, SIKA y Z ADITIVOS S.A. (Campos Sanchez, 2015).

Z Aditivos SA indicó que se están utilizando grandes cantidades de aditivos en el Perú, una de ellas son los acelerantes, ya sea para alcanzar resistencias tempranas u otras aplicaciones; el Perú es un país que posee distintas regiones en donde los climas y las necesidades influyen en la construcción.

El uso de este aditivo cada día es más empleado en el Perú, empresas como Consorcio minero Horizonte, Distribuidora Norte Pacasmayo (DINO) S.R.L, JME S.A.C., entre otras, tienen una visión de mejorar las propiedades del concreto y reducir los tiempos de las partidas en construcciones, sabiendo que al utilizar aditivos acelerantes se consigue un aumento de las resistencias iniciales, menores tiempos de desencofrado y reducción del costo de la obra. (SIKA, 2012).

La aplicación de los aditivos acelerantes es la mejor solución en lo que respecta a mejorar la productividad y reducir el tiempo de obra, sin el uso de estas alternativas el número de construcciones que presenten incumplimientos de plazos de ejecución irán aumentando conforme pase el tiempo, ocasionando incrementos en los costos de mano de obra, problemas internos en las empresas y un lento crecimiento constructivo en la ciudad, lo cual es desfavorable no solo para las empresas sino también para la población. (Asociación Nacional de fabricantes de aditivos para mortero y Hormigón , 2014).

La construcción de edificaciones destinadas a viviendas multifamiliares se ha incrementado en los últimos años. El costo y el tiempo de ejecución se encuentran ligados con la seguridad; por ello, la necesidad de un proceso de desencofrado lo más rápido posible (Dávila Pablo, Fabian Santiváñez, 2013). Según Díaz Lozano (2010), el plazo de descimbrado de los diferentes elementos de la estructura está en función de los esfuerzos a los que están sometidos. Los plazos mínimos para losas son de 10 días y vigas de 14 días, estos podrán variar dependiendo de factores como la temperatura, etc.

Cuando se proyecta un elemento de concreto se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos y adiciones. Un diseño racional y buen curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción. El tiempo de curado es fundamental en la evolución de las resistencias, a mayor tiempo de curado estas obtendrán mayores ganancias, evitando problemas de porosidad en el concreto; se estima que el concreto alcanza grandes incrementos de resistencia hasta los 28 días, de ahí en adelante

el aumento no es muy significativo. Las resistencias obtenidas a diferentes días de curado en su mayoría dependen del tipo de cemento y diseño a utilizar. (Sanchez Muñoz, Tapia Medina, 2015).

Por estos motivos es que como futuro ingeniero civil me propongo a estudiar las diferentes propiedades en estado fresco y endurecido que mejora los aditivos tipo C en el concreto, el cual es el material más utilizado en el sector construcción de nuestro país. De modo que al no investigar el efecto de los aditivos Tipo C, no se podrá utilizar en obra adecuadamente, ocasionando que las construcciones tanto en la localidad de Trujillo como en el Perú cada vez más presenten incumplimientos en los contratos pactados, incrementando el costo de las edificaciones y produciendo un lento avance constructivo a nivel nacional.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influyen los aditivos Tipo C, dosificación y curado sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado en un concreto convencional, Trujillo 2018?

## 1.3. Justificación

En el Perú el uso y aplicación de los aditivos ha conseguido ser clave en la elaboración del concreto, buscando satisfacer las diferentes necesidades que se presentan día a día en las construcciones, enfocándose en la inclusión de otros materiales para mejorar las propiedades requeridas. Así mismo, se muestra información sobre el uso de los aditivos de diferentes empresas dedicadas a este rubro como son CHEMA, SIKA, QUIMICA SUIZA, Z ADITIVOS y BASF las cuales son muy conocidas en el mercado de la construcción, además ofertan aditivos artificiales como acelerantes, retardantes, plastificantes, superplastificantes, adiciones, impermeabilizantes, curadores, incorporadores de aire y fibras para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, y así conseguir concretos resistentes, durables y de muy buena calidad. (Campos Sanchez, 2015).

Actualmente, existen diversos problemas en las construcciones los cuales generan incrementos de costos, uno de ellos es el aumento del tiempo de obra el cual produce incumplimientos en los contratos pactados. (Vilca Chunga, Castillo Lujan, Dominguez Roldan, y Linares Cueva, 2012). Ante esto, una alternativa es la elección y uso de los aditivos Tipo C, los cuales no solo permitan mejorar las propiedades del concreto en estado

fresco y endurecido, sino que genere la oportunidad de optimizar costos y tiempo para un mejor desarrollo de las construcciones en nuestro país.

En la ciudad de Trujillo se están ejecutando obras de gran envergadura los cuales cuentan con plazos mínimos para poder ejecutarlos, ya sea por los agentes climáticos como lluvias, es por ello que la Municipalidad provincial de Trujillo resalta que se deben ejecutar en el menor tiempo posible (La República, 2017), por ello, se pretende usar los aditivos Tipo C, los cuales son aditivos de fácil acceso en el Perú, y así poder observar las mejoras en el concreto obteniendo información más relevante para el alcance de las personas, empresas y entidades.

El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes, entre ellas tenemos cimentaciones, vigas, columnas, losas, muros de contención, placas, entre otros. (Unión de Concreteras, 2013), por lo que se requiere el uso del concreto convencional en la presente investigación, será aplicado principalmente para elementos estructurales como vigas, columnas y losas.

Según la Union Andina de Cementos (2016), establece que para elaborar elementos estructurales verticales y horizontales el concreto debe tener una resistencia de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  o  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , dependiendo de los requerimientos y el acero necesario. Por ello, para el desarrollo de la presente investigación se realizó un diseño de mezcla partiendo de un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  según la metodología ACI-211; la ciudad de Trujillo no requiere mayores exigencias, además que será aplicado en losas, columnas y vigas, cumpliendo con los requisitos mínimos según la Norma E.060 (2014), que la resistencia de diseño para elementos estructurales a los 28 días no será menor a 21 MPa. Cabe recalcar que al elaborar un concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se obtiene una mezcla trabajable, lo cual es conveniente, según Torres Alayo (2004), los aditivos acelerantes obtienen mejores resultados en mezclas con relación agua/cemento mayores a 0.6.

Al momento de realizar una construcción es muy importante saber qué tipos de cementos existen y cuál debemos elegir según el uso que vayamos a darle. Según Cementos Pacasmayo (2015), los cementos para edificaciones que no requieren propiedades especiales son el tipo I y Ico, considerados de uso general. Es por este motivo que se decidió emplear el cemento tipo Ico, que es uno de los más usados en la zona norte del país, contiene en su composición adiciones procedentes de materiales calizos, hasta un 30% de peso; es recomendado para elementos estructurales. Asimismo, es un cemento que proporciona a la mezcla una buena resistencia a la compresión, mejor trabajabilidad, maleabilidad y moderado calor de hidratación utilizado principalmente para obras de concreto armado (vigas, columnas y losas) los cuales no estén expuestos a ambientes salitrosos, por lo tanto, no será aplicado en cimentaciones, ya que en la ciudad de Trujillo

hay diversas zonas las cuales presentan problemas de salitre y humedad por la napa freática. Otro factor por el cual se utilizó el cemento tipo Ico es porque es más económico en comparación del cemento Tipo I, además se utilizó el cemento Ico regido bajo la Norma ASTM C595, ya que en la zona norte (Trujillo) es muy empleado para elementos estructurales y así poder obtener resultados de acuerdo con las necesidades de la zona, igualmente es considerado de uso general obteniendo resistencias de aproximadamente 28 MPa tal como requiere la ASTM C494-17, además en el artículo 11.1 de la ASTM C494-17 menciona que si se utiliza otro tipo de cemento para un trabajo específico, no se debe aumentar el contenido de aire de la probeta patrón en más del 3.5% y como sabemos el cemento Ico tiene un menor contenido de aire comparado con el Tipo I, es por ello que no promoverá que el concreto elaborado tenga un incremento en el contenido de aire.

La calidad y características de los agregados influye mucho en el diseño de mezcla y por ende en las propiedades del concreto, además, se debe tener en cuenta que los agregados no tengan sustancias que perjudiquen al concreto. El agregado fino y grueso utilizado se obtuvo de la cantera Rubio-Jaén ubicada en el sector Milagro, ya que esta cantera es una de las que presentó mejores propiedades en sus agregados, tal como se indica en la investigación de Castro Pacheco y Vera Castillo (2017).

Según la Unión de Concreteras (2013), nos muestra que para elaborar un concreto convencional se debe emplear agregados con dimensiones de 1",  $\frac{3}{4}$ " y  $\frac{1}{2}$ ", siendo estos controlados en el diseño según el ACI-211. Por ello se utilizará agregado de  $\frac{1}{2}$ " para elaborar un concreto convencional, además que al tener partículas de 10mm y 12.5mm se generará un mejor acomodo de todas las partículas en el concreto y a la vez una reducción de vacíos para alcanzar mayores resistencias. El análisis granulométrico del agregado grueso se realizó mediante el huso granulométrico 7, según la NTP 400.037. Conforme al agregado fino, se evaluó a través del huso granulométrico establecido en la 400.012, presentando un módulo de finura comprendido entre 2.3 - 3.1, para así poder ser considerado como adecuado en la elaboración de un concreto convencional.

Con respecto a los aditivos acelerantes, el efecto acelerador del cloruro de calcio sobre el fraguado del cemento Portland ha sido conocido desde 1885. Este efecto, combinado con el aumento que dicho compuesto provoca en la resistencia inicial del concreto, llevó a su uso bien sea por sí solo o como ingrediente mayoritario en los aditivos aceleradores del concreto. A pesar de los efectos beneficiosos que tienen los cloruros sobre la resistencia inicial y el fraguado del cemento Portland, también es cierto que muchos estudios han demostrado que a ciertas cantidades propician la corrosión del acero en el concreto. (BASF THE CHEMICAL COMPANY, 2014), es por estos motivos que se hace la elección de los aditivos acelerantes los cuales no sean elaborados a base de cloruros, ya que estos serán

empleados en un concreto estructural, por tanto, se requiere mejorar las propiedades sin producir la corrosión en el acero y disminuir la durabilidad de las estructuras.

Según la ASTM C494 los acelerantes pueden ser Tipo C o Tipo E, ya que el primero tiene como función principal el acelerar el proceso de fragua y/o resistencias, sin embargo, el tipo E tiene como función adicional la capacidad de reducir agua haciendo al concreto más trabajable. Según lo mencionado, se utilizará los aditivos Tipo C de fragua y resistencias, ya que al elaborar un concreto de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , este es trabajable por sí solo, ya que cuenta con una  $r_{a/c}$  de aproximadamente 0.61 con lo cual no se requiere incrementar la trabajabilidad y a la vez no incrementamos costos.

La ASTM C494, nos muestra los requisitos mínimos que deben cumplir los aditivos Tipo C en cuanto a resistencia a compresión y tiempo de fraguado inicial y final (Tabla 15), por lo que en la presente investigación se requiere realizar el ensayo de Penetración, Compresión y Consistencia para así poder medir la eficiencia de los aditivos Tipo C en el concreto.

En obra, las condiciones ambientales y especialmente la temperatura afectan directamente al desarrollo de la resistencia y demás propiedades. Los aditivos tipo C se pueden utilizar en diversas zonas ya sea a temperaturas regulares (aprox.  $23^\circ\text{C}$ ) para acabados y desencofrados más rápidos, etc. y a la vez a temperaturas bajas en las cuales será necesario para obtener un fraguado más rápido debido a que la reacción química del cemento con el agua es un proceso exotérmico, y las temperaturas ambientales bajas retardan los tiempos de fraguado del concreto, teniendo en cuenta que la temperatura no genere un congelamiento en el concreto.

Las posibilidades de hoy con respecto a utilizar tecnologías sustitutivas del cemento portland, la introducción de geopolímeros, de concretos ultraoptimizados (muy bajos contenidos de pasta) o concretos con elevados contenidos de adiciones minerales, van de la mano con el desarrollo y progreso de tecnologías químicas de aditivos que nos permiten usar un material con mucho mejores propiedades en estado fresco como endurecido (SIKA, 2014). Por ello los resultados de la presente investigación, proporcionará a los constructores y empresas en general la capacidad de tener un mayor criterio en cuanto a la elección de un aditivo acelerante y la proporción adecuada para su correcto uso, por lo que repercutirá en beneficio del constructor, propietario y construcción en general, ya que permitirá la más rentable y eficiente utilización de los aditivos acelerantes en el concreto para un mejor rendimiento de la obra. Obteniendo a la vez que las empresas constructoras que se desarrollan tanto en el ámbito privado como público se beneficien disminuyendo el presupuesto de inversión de la obra, utilizando estos aditivos se disminuirán los tiempos, produciendo rápidos desencofrados y alcanzando altas resistencias iniciales contribuyendo así un gran aporte no solo económico sino también al sector construcción. Asimismo, se

contribuirá a un mejor desarrollo infraestructural del país, superando los problemas de retraso del plazo de obra que afecta a los proyectos de inversión.

La investigación otorga un aporte a todas las personas interesadas en el uso de aditivos en las construcciones, además facilitará información a futuros tesis que realicen investigaciones en el campo de la construcción. Teniendo en cuenta que, al utilizar aditivos Tipo C, se producen construcciones más eficientes y rápidas, obteniendo un mayor desarrollo de la ciudad de Trujillo.

#### **1.4. Limitaciones**

Al manipular una gran muestra se requiere un espacio más amplio, por ello se optó por realizar el conformado, curado, refrendado y compresión en el laboratorio de concreto y reciclado de la Universidad Nacional de Trujillo.

El elevado costo que requiere elaborar una mayor cantidad de muestra para realizar todos los ensayos que indica la ASTM C494 y ver el efecto de los aditivos Tipo C a 56 y 90 días.

#### **1.5. Objetivos**

##### **1.5.1. Objetivo general**

- Determinar la influencia de los aditivos Tipo C según ASTM C494-17, dosificación y curado sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado en un concreto convencional, Trujillo-2018.

##### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup> de compresión adicionando diferentes aditivos Tipo C.
- Conocer las características de los aditivos Tipo C en el mercado ya sea, marcas, tipos, composición química, entre otras propiedades.
- Verificar el comportamiento del concreto en estado endurecido a través de la resistencia a la compresión en un concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup> de compresión con diferentes aditivos Tipo C a diferentes días de curado.

- Evaluar el comportamiento del concreto en estado fresco a través de la trabajabilidad y tiempo de fraguado en un concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup> de compresión con diferentes aditivos Tipo C.
- Realizar los ensayos de caracterización como, contenido de humedad, peso específico, absorción, granulometría, peso unitario suelto seco, peso unitario compactado seco del agregado fino y agregado grueso.
- Evaluar la cantidad óptima de cada aditivo Tipo C a utilizar en un concreto convencional sobre la resistencia a la compresión, trabajabilidad y tiempo de fraguado.
- Verificar si los aditivos Tipo C Chema 3, Sika Rapid 1 y MasterSet AC 534 cumplen con los requisitos de la NTP 334.088 y ASTM C494 conforme al tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, en un concreto convencional elaborado con cemento portland Tipo Ico.
- Analizar económicamente un concreto convencional adicionado con aditivos Tipo C.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

En el ámbito internacional encontramos los siguientes antecedentes:

**Título:** “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ADITIVO BETTER MIX EN ESTADO FRESCO, SEMIENDURECIDO Y ENDURECIDO DEL CONCRETO ESTRUCTURAL”

Ocampo H., Macías P. (2015), en su investigación señala que logro establecer la influencia del aditivo Better Mix de la empresa TOXEMENT S.A en las propiedades del concreto en estado fresco, semiendurecido y endurecido. Se elaboraron 14 diseños de mezcla, los cuales se dividieron en 4 bloques. En el primero se utilizó el cemento Argos y adiciones del aditivo acelerante en 250 gr/m<sup>3</sup>, 300 gr/m<sup>3</sup> y 350 gr/m<sup>3</sup>. Luego se procedió a elaborar el segundo, tercer y cuarto bloque con el cemento Cemex y Holcim, evaluándolos a 3, 7, 28 y 56 días, diseñados para 28 Mpa. Además, se realizaron los ensayos de tiempo fraguado y resistencia a compresión.

Al finalizar la investigación, se concluye que la dosificación adecuada y que genera mayor influencia en el concreto es de 350 gr/m<sup>3</sup>, con lo cual se obtiene un incremento de la resistencia del 16.5% a los 3 días, para los 28 días de 9.2% y 7.4% a 56 días con el cemento Argos, el cual fue el que presento mejores resultados. Asimismo, se demuestra que el aditivo no tiene mucha influencia con respecto al tiempo de fraguado, ya que se redujo 25 minutos en el fraguado inicial. De esta investigación se percibe que los aditivos Tipo C tienen mayor influencia en menores tiempos de curado, por tanto, servirá como base para describir mejor el incremento de la resistencia a diferentes días de curado.

**Título:** “ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS ELABORADOS CON CEMENTO TIPO I Y III, MODIFICADOS CON ADITIVOS ACELERANTES Y RETARDANTES”

Castellón C., De la Ossa A. (2013), en su trabajo logra comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo III, permitiendo establecer su comportamiento al modificarlos con aditivos acelerantes y retardantes, para lograr una mezcla de concreto de 4000 PSI. Para la elaboración de esta investigación se utilizó cemento Tipo I Argos y III Cemex, adicionando un aditivo acelerante (Accelguard 25) y retardante (Eucon 37) ambos de la empresa TOXEMENT S.A, utilizando grava de ½” y arena natural para ser ensayados a 7, 14 y 28 días de curado. Los ensayos que se realizaron fueron los de Resistencia a Compresión, ensayos de caracterización de los agregados y Tiempo de Fraguado del cemento. Al concluir la investigación se determinó que el cemento

Tipo III obtiene mejores resultados de resistencia, además que al adicionar el aditivo retardante no se incrementa la resistencia por lo que se recomienda reducir la cantidad de agua. Finalmente, al adicionar el aditivo acelerante se obtienen incrementos de resistencia hasta un 29.3%. Este estudio aporta un análisis adicional ya que se estableció la influencia de los aditivos acelerantes en los cementos Tipo III y Tipo I, el cual servirá como referencia para analizar y describir el comportamiento de los aditivos Tipo C en un cemento de uso general.

En el ámbito nacional encontramos los siguientes antecedentes:

**Título:** “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS ACELERANTES SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO”

Torres A. (2004), en su estudio logra precisar la influencia de los aditivos acelerantes en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando el aditivo Plastocrete 161 FL a base de Nitrato de Calcio. Se elaboraron 16 diseños de mezcla distintos variando el aditivo acelerante en porcentajes de 3%, 4% y 5% en función al peso del cemento, utilizando cemento Tipo I y Tipo II (Andino) con relaciones agua cemento de 0.4 y 0.6 diseñados para un asentamiento de 3” a 4”. Se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión, tiempo de fraguado y contenido de aire.

Los resultados que se muestran a nivel de resistencias mecánicas cumplen con los requerimientos para las edades de 7 días o mayores, pero no para edades de 3 días. La resistencia a la compresión tuvo un mayor incremento con el cemento Tipo II y una adición del 5%, obteniendo un incremento del 22% a los 3 días, ya que este diseño libera una mayor cantidad de calor de hidratación, para lo cual propicio una mejor reacción de este aditivo en la mezcla. El fraguado inicial se redujo 78 minutos y el final 91 minutos cumpliendo con los requisitos de la NTP 334.088 para el fraguado.

Este estudio confirma que las resistencias iniciales a pesar de no cumplir con los requisitos mínimos de la NTP 334.088, tuvo mayores incrementos porcentuales para una  $r/a/c$  de 0.6, lo cual indicó que para una mayor  $r/a/c$  el aditivo tuvo un mayor impacto.

Esta investigación nos brinda un alcance adicional, ya que se estableció el efecto de los aditivos acelerantes a diferente relación agua/cemento, sirviéndonos como base para describir de una manera adecuada la influencia de los aditivos Tipo C en un concreto con  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

**Título:** “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL ADITIVO CHEMA ESTRUCT EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON CEMENTO PACASMAYO Y CEMENTO INKA”

Yzquierdo V. (2015), en su trabajo consigue determinar la influencia del Aditivo Chema Estruct sobre la resistencia a la compresión del concreto. Se elaboraron 120 probetas para una resistencia a 28 días de 210 Kg/ cm<sup>2</sup> con el método de módulo de finura de los agregados, para lo cual se utilizó el cemento Pacasmayo Tipo I y cemento Inka tipo Ico para diferentes adiciones del aditivo. Además, la dosificación del aditivo Chema Estruct fue de 250, 375, 425 y 500 ml/bls, teniendo en cuenta la dosificación recomendada en la ficha técnica y también por lo que contiene plastificantes. Se concluye que el aditivo Chema Estruct tuvo una mayor influencia en el Cemento Tipo I para una dosificación de 425 ml por bolsa de cemento, ya que con el cemento tipo I se obtuvo un incremento del 10% y con el cemento tipo Ico se obtuvo un incremento del 9.5 %.

Esta investigación confirma que el aditivo acelerante Chema Estruct tiene una mayor influencia en el cemento Tipo I de Pacasmayo. A través de esta investigación obtenemos un mayor conocimiento del efecto de los aditivos acelerantes en los cementos tipo I y tipo Ico los cuales no varían de manera significativa, sirviéndonos como base para proponer utilizar el cemento tipo Ico el cual es muy empleado en la ciudad de Trujillo y es menos costoso.

**Título:** “ESTUDIO COMPARATIVO DEL EFECTO DE ADITIVOS CHEMA Y SIKA ACELERADORES DE FRAGUA EN LA CIUDAD DEL CUSCO EN CONCRETOS EXPUESTOS A CLIMAS ALTO ANDINOS”

Ponce Córdova (2016), en su investigación señala que logra determinar el efecto de los aditivos acelerantes de fragua Chema y Sika en la ciudad del Cusco para acelerar el tiempo de fragua en concretos expuestos a climas alto andinos, en la cual se utilizó el cemento Yura IP para la elaboración de un concreto estándar  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con un asentamiento de 3” a 4” adicionando los aditivos Sika 3, Sika 5, Chema 5 y Chema Estruct, utilizando las dosificaciones mínimas, medias y máximas según su ficha técnica , logrando obtener altas resistencias iniciales en climas de temperaturas bajas. Los ensayos realizados fueron a compresión para 3, 7 y 14 días y Tiempo de fraguado haciendo un total de 123 briquetas, con lo cual se determinó que el aditivo Sika 5 obtuvo una resistencia a la compresión de 192.01 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 3 días.

Al concluir la investigación, se afirma que se obtuvo una mayor resistencia con el aditivo Sika 5 el cual presento un incremento del 30.9 % a la edad de 3 días, 16.83% a la edad de 7 días y 13. 45% a la edad de 14 días a una proporción de 28 cm<sup>3</sup> por Kg de cemento.

Esta investigación aporta un análisis adicional, en el cual se estableció la influencia de los aditivos acelerantes a temperaturas bajas, usándolo como base para ver el efecto de los aditivos según el clima y la temperatura en la que se elabora el concreto.

**Título:** “CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO FABRICADO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA UTILIZANDO CEMENTO IP Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE Y ACELERANTE DE FRAGUADO”

Ruiz Panduro (2008), en su trabajo logra determinar las características del concreto en estado fresco y endurecido preparado en la ciudad de Arequipa situada a 2363 msnm. Se elaboraron 15 diseños de mezcla, ya que se utilizaron relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.45 y 0.5, asimismo se adicionó el aditivo AIRMIX 200 al 0.046%(0.45ml/Kg) y ACCELGUARD 80 al 1.42% (10ml/Kg) y 2.13% (15ml/Kg) en función al peso del cemento, ambos de la marca (EUCO) en un cemento IP de YURA S.A con un slump de 3” a 4”. Para esta investigación se realizaron los ensayos en estado fresco de Asentamiento, Peso unitario, Exudación, Contenido de Aire, Tiempo de Fragua y para el estado endurecido se realizaron el ensayo de Resistencia a Compresión, Tracción y Absorción.

Al concluir la investigación, se afirma que el aditivo acelerante con el inclusor de aire aumenta la resistencia a compresión hasta un 9%, además se presenta una reducción del fraguado inicial de 73 min, por lo que al trabajar con un aditivo incorporador de aire en conjunto con un acelerante se obtiene una reducción mayor del tiempo de fraguado inicial en el concreto que al trabajar con solo un aditivo acelerante. Además, la relación a/c en la que se presenta una mayor influencia es de 0.5. Este estudio aporta un conocimiento mayor ya que se ve el efecto del aditivo acelerante en conjunto con un incorporador de aire, usándolo como base para describir el efecto del aditivo en las propiedades mecánicas del concreto.

**Título:** “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE Y TIPO DE ACELERANTE, SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN LA FABRICACIÓN DE UN CONCRETO DE RÁPIDO FRAGUADO”

Baca Pinelo, Boy Sanchez (2015), en su investigación consiguen evaluar la influencia que tiene el porcentaje y el tipo de aditivo acelerante sobre la resistencia a la compresión de un concreto elaborado con cemento Pacasmayo tipo ICo. Para lo cual se elaboraron 60 probetas de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura, utilizando los aditivos Chema 3 y Sika 3 al 1%, 2%, 3%, 4% y 5% en función al peso del cemento, además se utilizó una relación agua/cemento de 0.56 para un concreto de 210 Kg/cm<sup>2</sup> evaluado a los 7 días de curado. Los ensayos realizados fueron de Resistencia a Compresión bajo la ASTM C39, Tiempo de Fragua según la Aguja de Vicat y Calorimetría. Al finalizar esta investigación, se demuestra que al adicionar el aditivo Chema 3 y Sika 3 al 4% en función al peso del cemento se obtienen resistencias de 205.8 Kg/cm<sup>2</sup>, 209.3 Kg/cm<sup>2</sup> para 7 días de curado, con lo que se concluye que el aditivo que obtuvo mejores resultados es el Sika 3. Este estudio aporta un análisis adicional, en el cual se estableció la influencia de los aditivos a base de cloruros y

sin cloruros, usándolo como apoyo para ver el efecto de los aditivos según su composición química las ventajas y desventajas que provocan.

## **2.1. Bases teóricas**

### **2.1.1. Concreto**

#### **2.1.1.1. Definición**

El concreto (hormigón) es el material conformado por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena, agua y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes; así lo indica (Benites Espinoza, 2010).

Si bien la definición habitual consideraba a los aditivos como un elemento opcional, en la práctica moderna mundial estos constituyen un ingrediente común, por cuanto está científicamente demostrado la conveniencia de su empleo en mejorar condiciones de Trabajabilidad, resistencia y durabilidad, siendo a la larga una solución más económica si se toma en cuenta el ahorro en mano de obra, equipo de colocación y compactación, mantenimiento, reparaciones e incluso en reducción de uso de cemento. (Benites Espinoza, 2010).

Según (Unión de Concreteras (UNICON), 2013), El concreto convencional tiene una amplia utilización en las estructuras de concreto más comunes. Disponible en diferentes resistencias (desde 175 hasta 350 Kg/cm<sup>2</sup>). Dependiendo de las dimensiones y cuantía del refuerzo del elemento que se va a vaciar y elaborar se especifica el tipo de agregado requerido y sus proporciones:

- Agregado estándar (tamaño máximo de 1"),
- Agregado medio (tamaño máximo ¾") y
- Agregado fino (tamaño máximo de ½").

Los materiales y el producto final son controlados, examinados y ensayados de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y las Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM), cumpliendo con los criterios de aceptación establecidos por dichos documentos.

### 2.1.1.2. Características:

Según (Ruiz Panduro, 2008), un concreto de buena calidad es aquel que satisface eficientemente los siguientes requisitos:

- La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua, etc.

Pero el concreto también tiene desventajas, ya que la calidad depende, de una buena dosificación y un control adecuado; como, por ejemplo:

- Con frecuencia el concreto se prepara en lugares sin un responsable absoluto de su producción, es decir el control de calidad no es tan bueno.
- El concreto es un material de escasa resistencia a la tracción. Esto hace difícil su uso en elementos estructurales que están sometidos a tracción por completo (como los tirantes) o en parte de sus secciones transversales (como vigas u otros elementos sometidos a flexión).

Para superar esta limitación se utiliza el acero, con su elevada resistencia a tracción. La combinación resultante de ambos materiales se conoce como concreto armado, posee muchas de las mejores propiedades de cada uno. Esta combinación es la que permite la masiva utilización del concreto armado en la construcción de edificios, puentes, pavimentos, presas, tanques, pilotes, etc.

### 2.1.1.3. Usos y aplicaciones

Los concretos convencionales son los que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción. Los usos aplicaciones de cada tipo varían según especificaciones de cada obra. En el campo de la construcción se cuenta con una amplia gama de concretos de este tipo para satisfacer los requerimientos de los diversos y tipos de obras. (CEMENTOS PACASMAYO, 2015).

Según Cementos Pacasmayo los concretos convencionales más utilizados son:

- **Normal:** Concreto de uso muy común en la construcción, elaborado con agregados seleccionados y aditivos que permiten obtener un producto rentable, homogéneo y durable. Se aplica en estructuras de concretos comunes como losas, columnas, vigas, cimentaciones, veredas, entre otros.

- **Plastificado (bombeado):** Es un concreto diseñado especialmente para que se lo impulse a presión a través de una tubería, lo que permite alcanzar grandes distancias horizontales y verticales. Se aplica en estructuras que requieran vaciarse con rapidez y con difíciles accesos y espacios limitados.
- **Superplastificado:** Concreto el cual es diseñado con una alta fluidez para facilitar su colocación en elementos que lo requieran. Se aplica en elementos con alta densidad de acero de refuerzo, esbeltos y que se requiera un bombeo a gran altura.
- **Durable:** Concreto el cual es diseñado pensando en las condiciones de exposición y servicio de la obra. Por sus propiedades físico-químicas incrementa la vida útil de las estructuras. Se utiliza en elementos expuestos a condiciones de hielo y deshielo, congelamiento, ataque de sulfatos y que requieran baja permeabilidad.
- **Resistencia acelerada:** Concreto el cual cuenta con una baja relación agua-cemento que cumple con los requisitos de resistencia a edades tempranas a 3 o 7 días. Se aplica en elementos que requieren un rápido desencofrado.
- **Fibroreforzado:** Concreto el cual incluye refuerzo de fibras sintéticas o metálicas que le confieren un control adecuado sobre las fisuras, ya sea por contracción plástica o contracción por secado. Se aplica en losas sobre el terreno, pavimentos, losas macizas, entre otros.



*Figura 1: Campos de aplicación del concreto. (Cementos Pacasmayo, 2015)*

## 2.1.2. Componentes del concretos

### 2.1.2.1. Agregados

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas, de origen artificial o natural, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011.

Sabemos que el concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocido como agregado el cual ocupa del 65% al 80% del volumen de la unidad cúbica de concreto. Por su peso puede clasificarse en normal, liviano y pesado. Por su limpieza en sucio y limpio. Por su granulometría en agregado fino, agregado grueso. Además, la calidad del agregado es importante desde que aproximadamente 3/4" partes del volumen del concreto es ocupada por éste. Desde los estudios iniciales de Gilkey, en 1923, se dejó de considerar al agregado como un material inerte de relleno cuya aplicación permitía disminuir el costo de la unidad cúbica de concreto. Hoy se sabe que el agregado, debido a sus propiedades físicas, químicas y térmicas, tiene una gran influencia determinante sobre las propiedades del concreto, especialmente su resistencia y durabilidad. (Riva Lopez, 2013)

**a. Clasificación de los agregados:** En general los agregados se han clasificado de varias maneras conforme pasa el tiempo, ya sea desde el punto de vista de su procedencia, densidad, tamaño, forma y textura.

- **Según su procedencia:**

De acuerdo con el origen de los agregados, según su procedencia ya sea fuentes naturales o a partir de productos industriales se clasifican de la siguiente manera:

Los agregados naturales, son aquellos procedentes de la explotación de fuentes naturales tales como: depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o glaciares (canto rodado) y de canteras en las cuales se extrae agregado de diferentes tamaños según se requiere; entre ellas tenemos las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Los agregados artificiales se obtienen a través de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto; entre ellas tenemos las arcillas expansivas, Clinker, escorias, etc. Cabe recalcar que estos agregados son de mayor o menor densidad que los agregaos corrientes. (Rivera L., 2013)

- **Según su tamaño:**

El concreto se elabora con partículas de agregado de una variedad de tamaños hasta un máximo de entre 3/8" y 2", dependiendo de las características que se requieran. La distribución del tamaño de la partícula se denomina gradación. Un concreto de baja resistencia puede estar hecho con agregado de depósitos que contengan diferentes tamaños de partícula, de las más grandes hasta las más pequeñas, conocido como hormigón. La alternativa de uso más común en la fabricación de concreto de buena calidad consiste en obtener el agregado en, por lo menos, dos lotes separados con la división principal en el tamaño de partícula de 5 mm (3/16") o malla No 4 de la ASTM. Así, se divide el agregado fino (arena) del grueso (piedra). (Torres Alayo, 2004).

A continuación, se presenta la Tabla 1 en la cual se clasifica según el tamaño tanto para el agregado Fino como Grueso.

*Tabla 1: Clasificación de los agregados según su tamaño. (Rivera L. Gerardo, 2013)*

Tamaño en (mm)	Denominación más común	Clasificación	Uso como agregado de mezclas
< 0.02	Arcilla	Fracción muy Fina	No recomendable
0.02- 0.074	Limo		No recomendable
0.074- 4.76 #200- #4	Arena	Agregado Fino	Material apto para mortero o concreto
4.76- 19.1 #4- 3/4"	Gravilla	Agregado Grueso	Material apto para concreto
19.1- 50.8 3/4"-2"	Grava		Material apto para concreto
50.8- 152.4 2"-6"	Piedra		----- --
> 152.4	Rajón, Piedra Bola		Material apto para concreto ciclópeo

- **Según su densidad:**

Mayormente se acostumbra a clasificarlos en normales con P.e. = 2,5 a 2,75, ligeros con P.e. < 2,5 y pesados con P.e. > 2,75. También dependen de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de poros, ya sean tanto para agregados naturales como artificiales. Esta clasificación es necesaria porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir. (Rivera L., 2013).

*Tabla 2: Clasificación de los agregados según su masa unitaria. (Rivero L. Gerardo, 2013)*

Tipo de concreto	Masa unitaria aprox. del ccto. (kg/m <sup>3</sup> )	Masa unitaria del agregado (kg/m <sup>3</sup> )	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
Ultraligero	500 - 800	-----	Concreto para aislamiento	Piedra Pómez Ag. Ultraligero
Ligero	950 - 1350 1450 - 1950	480 - 1040	Rellenos y Mampostería no Estructural. Ccto. Estructural	Perlita Ag. Ultraligero
Normal	2250 - 2450	1300 - 1600	Ccto. Estructural y Ccto. No Estructural	Agregado de río o triturado
Pesado	300 - 5600	3400 - 7500	Ccto. Para proteger de radiación Gamma ó X y contrapesos	Hemanita, barita, coridón, magnetita.

- **Según su forma:**

La presencia de partículas alargadas o aplanadas puede la trabajabilidad, la resistencia y durabilidad de las mezclas, porque tienden a orientarse en un solo plano lo cual dificulta la manejabilidad de estos; además debajo de estos se pueden formar partículas de aire, perjudicando a la mezcla endurecida. Se puede decir que las partículas largas tienen una relación de longitud y ancho de 1.5, mientras que las planas tienen una relación de espesor y ancho menor a 0.5. (Rivera L., 2013)

Tabla 3: Clasificación de la partícula del agregado según su forma. (Rivera L. Gerardo, 2013)

Forma	Características	Ejemplo
Redondeadas	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento	Grava del río o playa, arena de desierto, playa
Irregular	Irregularidad natural, o parcialmente limitada por frotamiento y con orillas redondeadas	Otras gravas, pedernales del suelo o de excavación
Escamosa	Materia en el cual él es pequeño con relación a las otras dimensiones	Roca laminada
Angular	Posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas.	Rocas trituradas de todo tipo, escoria triturada
Alargadas	Material normalmente angular en el cual la longitud es considerablemente mayor que las otras dimensiones.	-----

- **Según su textura:**

La clasificación de las partículas del agregado según su textura superficial se basa en el grado en el que la superficie de una partícula es pulida o mate, suave o áspera. La textura también depende de su dureza, superficie y el tamaño del grano. (Rivera L., 2013).

Tabla 4: Clasificación de la partícula del agregado según su textura. (Rivera L. Gerardo, 2013)

Textura	Características	Ejemplo
Vítrea	Fractura concoidal	Pedernal negro, escoria vítrea
Lisa	Desgastada por el agua, o liso debido a la fractura de roca laminada o de grano	Gravas, pizarras, mármol y algunas reolitas
Granular	Fractura que muestra granos más o menos uniformemente redondeados	Arenisca
Áspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen constituyentes cristalinos no fácilmente visibles	Basalto, felsita, pórfido, caliza
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles	Granito, gabro, gneis
Apanalada	Con poros y cavidades visibles	Pómez, espumosa, arcilla expandida

## b. Propiedades físicas de los agregados

### - **Granulometría:**

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de estas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico, el cual consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor abertura. Los tamices se disponen de acuerdo con la utilización. Además, este ensayo se realiza en base a las Normas (ASTM C 136, AASHTO T 27, NTC 77, NTP 400.012).

Para visualizar mejor la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices (%) y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices(mm). (Gutiérrez López, 2010).

Durante el proceso granulométrico es esencial conocer los siguientes parámetros:

**Módulo de finura:** Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices (contec empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea de 1 a 2. (Gutiérrez López, 2010).

El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:

- Arenas finas Módulo de finura entre 0.5-1.5
- Arenas medias Módulo de finura entre 1.5-2.5
- Arenas gruesas Módulo de finura entre 2.5 - 3.5.

Cabe recalcar que el módulo de finura típico oscila entre 2.3 y 3.1

**Tamaño máximo:** Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra, señala la dimensión de la partícula más grande que hay en toda la muestra.

**Tamaño máximo nominal:** Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es

mayor o igual al 15%. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado evaluado.

- **Peso específico:**

Es la división del peso de la sustancia entre el volumen que ésta ocupa. El peso específico es un indicador de calidad: el cual nos dice que si los valores obtenidos son elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponden a agregados con una mayor absorción y generalmente malos. (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2015). El valor promedio para agregados normales oscila entre  $2500 \text{ kg/m}^3$  y  $2800 \text{ kg/m}^3$ .

- **Peso unitario:**

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido, incluyendo vacíos (Figura 2). Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado. (Gutiérrez López, 2010).

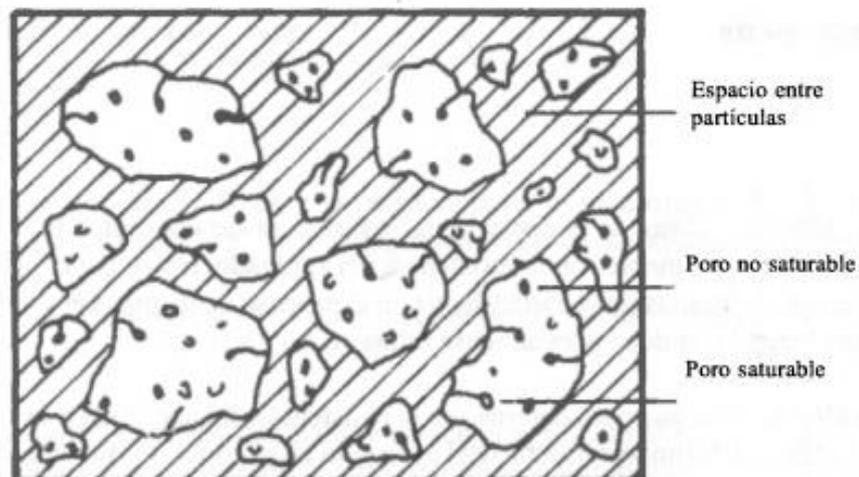


Figura 2: Esquematización del peso volumétrico. (Gutiérrez López, 2010)

**Peso unitario compactado:** El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

**Peso unitario suelto:** Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

- **Humedad:**

El contenido de humedad se define como la relación entre el peso del agua contenido en el agregado y el peso del agregado sólido seco, expresado en porcentaje (%). (Gómez Domínguez, 2014).

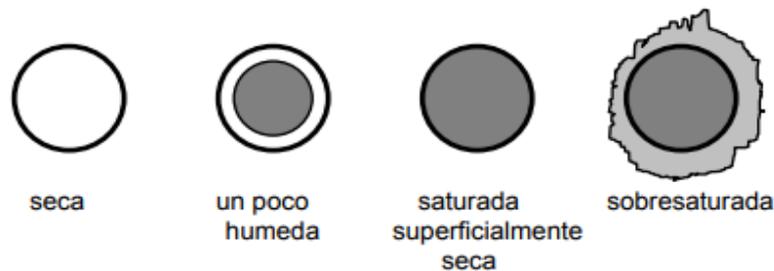


Figura 3: Grados de humedad de las partículas de los agregados. (Gómez Domínguez, 2014)

Como se muestra en la Figura 3 las condiciones de humedad de los agregados son:

- Seca o Seca al Horno: Estado absorbente de la partícula.
- Un poco Húmeda: La superficie de las partículas está seca, pero en su interior hay humedad.
- Saturados y superficialmente secos (SSS): Esta en un estado en el que no absorben ni ceden agua.
- Sobresaturado: El material está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante (se presenta exudación).

- **Absorción**

La absorción es la capacidad de los agregados de llenar los vacíos o poros, se obtiene generalmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra obtener el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material. (Gutiérrez López, 2010).

### 2.1.2.2. Cemento:

El cemento Portland es un material producto de la fusión química a altas temperaturas de materiales calcáreos y arcillosos, este nuevo producto reacciona cuando hace contacto con el agua endureciéndose con el tiempo hasta convertirse en una piedra artificial, por lo que recibe también el nombre de cemento hidráulico. (Gómez Domínguez, 2014).

Conforme a la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009), el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

Cemento Portland = Clinker Portland + Yeso

#### 2.1.2.2.1. Composición química del cemento

Los componentes principales del cemento Portland lo conforman los silicatos y los aluminatos de calcio, dichos compuestos se generan por la asociación química de diferentes óxidos como el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), que se representa químicamente en forma abreviada por la letra C, la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), que se representa por S, la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que se representa por A y el óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) representado por F.

Adicionalmente se forman compuestos secundarios como  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y otros. Los dos últimos óxidos, el de sodio y el de potasio se conocen como los álcalis del cemento, normalmente estos compuestos están restringidos en un 0.6% por peso en forma combinada, esta restricción obedece a que arriba de este porcentaje y bajo condiciones ambientales favorables, los álcalis también reaccionan en forma expansiva con algunos agregados de origen volcánico, provocando la desintegración del concreto.

Para producir un cemento Portland se espera que la presencia o contenido de los diferentes óxidos se encuentre dentro de los rangos indicados por la Tabla 5.

Tabla 5: Composición química del cemento portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2014)

Óxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	60% a 67%	C
SiO <sub>2</sub>	17% a 25%	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3% a 8%	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5% a 6%	F
SO <sub>3</sub>	1% a 3%	
MgO	0.1% a 4%	
K <sub>2</sub> O y Na <sub>2</sub> O	0.2% a 1.3%	
Cal Libre	0% a 2%	
Pérdida por calcinación	0.5% a 3%	

Los compuestos principales resultado del proceso de fusión química en el horno son cuatro, sus nombres, formulas químicas abreviadas y abreviaciones comunes se citan a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6: Compuestos principales del cemento portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2014)

Designación	Fórmula	Porcentaje	Abreviatura
Silicato tricálcico	3CaO.SiO <sub>2</sub>	30% a 50%	C <sub>3</sub> S
Silicato Dicálcico	2CaO.SiO <sub>2</sub>	15% a 30%	C <sub>2</sub> S
Aluminato tricálcico	3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4% a 12%	C <sub>3</sub> A
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8% a 13%	C <sub>4</sub> AF

Según (Benites Espinoza, 2010), los compuestos se definen de la siguiente manera:

- a. **Silicato Tricálcico (3CaO.SiO<sub>2</sub> > C<sub>3</sub>S > Alita):** El cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación. Constituye del 50 al 70% del Clinker (120 cal/g).
- b. **Silicato Dicálcico (2CaO.SiO<sub>2</sub> > C<sub>2</sub>S > Belita):** El cual define la resistencia a largo plazo y no tiene mucha incidencia en el calor de hidratación. Constituye del 15 al 30% del Clinker (62 cal/g).

- c. **Aluminato Tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{C}_3\text{A}$ ):** Es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es necesario añadirle yeso durante la fabricación de cemento. Constituye del 5 al 10% del Clinker (207 cal/g).
- d. **Aluminato – Férrico Tricálcico ( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{C}_4\text{AF} > \text{Celita}$ ):** Influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación. Constituye del 5 al 15% del Clinker (100 cal/g).

Estos compuestos conforman el 90% al 95% de la masa del cemento. Además, las variaciones en porcentaje de los compuestos principales definen los diferentes tipos de cemento que se conocen. La Tabla 7 presenta los tipos de cemento Portland convencionales en las obras de ingeniería civil y su composición química.

Tabla 7: Composición típica de los cementos portland. (Gómez Domínguez Jorge, 2015)

Tipo de Cemento	Compuesto en %			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
I. Uso General (Normal)	50	24	11	8
II. Moderado Resistencia a los sulfatos	42	33	5	13
III. Resistencia Rápida	60	13	9	8
IV. Bajo Calor de Hidratación	26	50	5	12
V. Resistente a los Sulfatos	40	40	4	9

#### 2.1.2.2.2. Tipos de cemento

Los usos de los diferentes tipos de cementos obedecen a las propiedades físicas y químicas derivadas de sus procesos de hidratación, así como a la protección que pueden ofrecer al concreto elaborado con dichos cementos. Es habitual que las comparaciones de los diferentes tipos de cementos se hagan con respecto al cemento tipo I.

Según la norma NTP 334.009, y ASTM C-150-99 los tipos de cementos son:

**Tipo I:** Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo o no se requiera una protección especial.

**Tipo II (MS):** Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

**Tipo III:** Para emplearse cuando se requiere altas resistencias iniciales.

**Tipo IV:** Para utilizarse cuando se desea bajo calor de hidratación.

**Tipo V:** Se utiliza cuando se desea elevada resistencia a los sulfatos.

Además, según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.090), la cual especifica las características de los cementos adicionados, indica que son aquellos que contienen además de los compuestos mencionados, escorias, puzolanas y materiales calizos que modifican el comportamiento del cemento. Entre los diversos tipos de cementos y los porcentajes de adición, tenemos:

**Tipo IS:** Cemento portland con escoria de alto horno. Contenido de escoria entre 25% y 70%.

**Tipo ISM:** Contenido de escoria menor a 25%

**Tipo IP:** Cemento Portland Puzolánico Contenido de puzolana entre 15% y 40%.

**Tipo IL:** Cemento Portland-Calizo

**Tipo IT:** Cemento adicionado ternario

**Tipo IPM:** Cemento Portland Puzolánico Modificado. Contenido de Puzolana menor a 15%

**Tipo I (Co):** Es un cemento portland obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland, materiales calizos y o inertes, hasta un máximo del 30% de peso. Figura 4.



*Figura 4: Cemento tipo Ico. (Cementos Pacasmayo, 2015)*

La resistencia a compresión a los 3 días mínima es de  $133 \text{ kg/cm}^2$  y la ideal es de  $245 \text{ kg/cm}^2$  y a los 28 días su mínima es  $255 \text{ kg/cm}^2$  y su deseada es  $330 \text{ kg/cm}^2$ . Además, se sabe que tienen una densidad de  $3 \text{ gr/cm}^3$ .

### **2.1.2.3. Agua**

El agua es una sustancia líquida transparente, compuesto por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en estado puro es inodora, incolora e insípida. El agua tiene dos aplicaciones principales en la elaboración del concreto: como ingrediente en la elaboración de mezclas y también como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado en el concreto, y en el segundo se emplea exteriormente cuando el concreto se cura con agua a diferentes edades según los requerimientos. También se usa agua en el caso de que se tengan que lavar los agregados. (Torres Alayo, 2004).

**Agua de mezclado:** Es el agua que se agrega a la mezcla de concreto en conjunto con los agregados, cemento y aditivos, la cual tiene como principal finalidad promover la hidratación de los compuestos activos del cemento, generando una mezcla trabajable y muy resistente

**Agua de curado:** Agua en la cual el concreto mantendrá su hidratación a diferentes edades, también puede ser la misma agua de amasado o mezclado.

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla.

Si el agua no procede de una fuente de suministro de agua potable, se puede juzgar su aptitud como agua para concreto mediante los requisitos físico-químicos contenidos en la norma NTP 339.088 o ASTM C 1602. Ver Tabla 8.

Tabla 8: Límite permisible para agua de mezcla y de curado. (NTP 339.088, 2006)

Descripción	Límite Permisible
Sólidos en suspensión	5000 p.p.m.
Alcalinidad (NaHCO <sub>3</sub> )	< 600 p.p.m.
Materia Orgánica	< 3 p.p.m.
Sulfatos (Ión SO <sub>4</sub> )	< 3000 p.p.m.
Cloruros (Ión Cl <sup>-</sup> )	< 1000 p.p.m.
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (NA HCO <sub>2</sub> )	< 1000 p.p.m.

#### 2.1.2.4. Aditivos

##### 2.1.2.4.1. Definición

Es una sustancia química, generalmente dosificada en porcentajes en función al peso del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega en conjunto antes y durante del proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal manera que el material se adapte mejor a las características requeridas por la obra o necesidades del constructor. (Rivera L., 2013)

##### 2.1.2.4.2. Empleo

Según (Torres Alayo, 2004), la decisión sobre el empleo de aditivos debe considerarse en los casos que:

- Su utilización puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados, como la trabajabilidad, reducción de agua etc.
- Los objetivos deseados pueden lograrse, con mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de la mezcla.

A continuación, se presentan los fines para el uso de aditivos en estado Fresco y Endurecido:

#### **Modificación en estado fresco:**

- Para aumentar la trabajabilidad sin incrementar el contenido de agua, o para reducir el contenido de agua con la misma trabajabilidad.
- Para retardar o acelerar el tiempo de fraguado inicial.
- Para reducir o evitar el fraguado y crear ligera expansión.
- Para modificar la tasa o capacidad de sangrado, o ambas.
- Para reducir la segregación.
- Para mejorar la bombeabilidad.
- Para reducir la tasa de pérdida de revenimiento.

#### **Modificación en estado endurecido:**

- Para retardar o reducir la evolución de calor de hidratación durante el endurecimiento temprano.
- Para acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Para incrementar la resistencia a la compresión a la tensión o a la flexión).
- Para incrementar la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales descongelantes.
- Para reducir el flujo capilar de agua.
- Para reducir la permeabilidad a los líquidos.
- Para controlar la expansión causada por la reacción álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Para incrementar la adherencia del concreto con el refuerzo.
- Para mejorar la resistencia al impacto y a la abrasión.
- Para impedir la corrosión del metal ahogado.

#### **2.1.2.4.3. Tipos**

Según la ASTM C494 y NTP 334.088, clasifican a los aditivos de la siguiente manera.

*Tabla 9: Clasificación de los aditivos. (ASTM C494, 2017)*

<b>TIPO A:</b> Reductor de agua
<b>TIPO B:</b> Retardador de fraguado
<b>TIPO C:</b> Acelerador de fraguado
<b>TIPO D:</b> Reductor de agua y retardador
<b>TIPO E:</b> Reductor de agua y acelerador
<b>TIPO F:</b> Reductor de agua de alto efecto
<b>TIPO G:</b> Reductor de agua de alto efecto y retardador

### **2.1.2.4.3.1. Aditivos acelerantes**

#### **a. Definición y Beneficios:**

Los aditivos químicos acelerantes que cumplen con ASTM C-494 son Tipos C, acelerantes, y E, reductores de agua y acelerantes.

Los aditivos acelerantes de la norma ASTM C494 Tipo C, tienen como función principal el acelerar e incrementar el desarrollo temprano de la resistencia del concreto, es decir el endurecimiento y también acelerar el fraguado. Si se requiere hacer diferencia entre las dos funciones, puede ser útil referirse a las propiedades de aceleración del fraguado. (Ponce Córdova, 2016)

Según (BASF, The Chemical Company , 2006), se emplean cuando:

- El concreto se va a colocar a temperaturas bajas, digamos de 2 a 4 °C y cuando se desea un desencofrado rápido.
- En la elaboración de concreto prefabricado.
- Se requiere un tiempo de fraguado más rápido.
- Cuando se requiere hacer un trabajo de reparación urgente.
- Se requiere incremento de las resistencias a edades tempranas.

Otro de muchos beneficios es el que permite un acabado más temprano de la superficie del concreto y también poner la estructura más rápido en servicio. Inversamente a temperaturas altas pueden obtener resultados con una velocidad demasiado alta del desarrollo de calor de hidratación y el agrietamiento por contracción.

El acelerante más común empleado durante muchas décadas fue el cloruro de calcio. Ya que es el más efectivo para acelerar la hidratación de los silicatos de calcio, principalmente  $C_3S$  (Silicato Tricálcico), posiblemente por un cambio ligero en la alcalinidad del agua de poros o como catalizador en las reacciones de hidratación.

El cloruro de calcio es un acelerante efectivo, el cual tiene un defecto serio: La presencia de iones de cloruro en la vecindad del refuerzo de acero, favorece a la corrosión. Aunque las reacciones de corrosión solo ocurren en presencia de agua y oxígeno, los riesgos a la presencia de iones de cloruro en el concreto que contiene acero son tales que el cloruro de calcio nunca deberá incorporarse al concreto reforzado. (Neville, 2010)

Al requerirse el uso de acelerantes en el concreto armado, nació el interés sobre los acelerantes "sin cloruros", para empezar a reemplazar el cloruro cálcico. Sin embargo, el cloruro cálcico sigue siendo el material más efectivo para la aceleración de fragua, conociendo y cuantificando tanto sus virtudes como sus defectos. (Tengan Shimabukuro, 2011).

#### **b. Clasificación:**

Según (Vásquez Díaz, 2015), en el artículo aditivos para el concreto, la empresa SIKA menciona la clasificación de los aditivos Tipo C según la ASTM C494, los cuales son Acelerantes de Fragua y de Resistencias Iniciales.

Para los Acelerantes de Fragua tenemos los siguientes beneficios:

- Empleo en prefabricados y concretos lanzados.
- Se reduce el tiempo de trabajabilidad
- Con altas dosis las resistencias finales se reducen en comparación a los concretos sin aditivos.
- Posibilidad de incrementar la contracción
- En elementos de secciones muy anchas, el calor de hidratación puede generar altas temperaturas y por lo tanto fuertes contracciones térmicas.

Para los Acelerantes de Resistencias tenemos los siguientes beneficios:

- Se desarrollan resistencias iniciales después del fraguado.
- Mínima o nula pérdida de trabajabilidad.
- Resistencias finales iguales que los concretos sin acelerante.
- Aplicación en concretos premezclados
- Posibilidad de incrementar la contracción.

#### **c. Composición química:**

Los tipos de acelerantes según su composición son muy variados y generalmente se trata de sales orgánicas e inorgánicas.

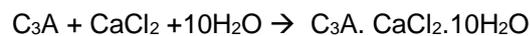
Según SIKA generalmente los materiales inorgánicos tienen un efecto acelerante en el cemento como:

- Cloruros y sulfatos solubles
- Nitrito y nitrato de calcio
- Soluciones alcalinas
- Carbonatos, aluminatos, fluoruros y boratos
- Silicatos
- Óxidos e hidróxidos de aluminio

Otros compuestos que hay son: bromuros, tiocianatos, tiosulfatos, percloratos, ácidos carboxílicos y alcanolaminas.

El (COMITE ACI 222, 2015), recalca que según su composición química se dividen en 2 Con cloruros y sin Cloruros:

**Con Cloruros:** El  $\text{CaCl}_2$ , incrementa la velocidad de hidratación dando lugar a un gran incremento de resistencias iniciales y también a una gran liberación de calor en sus primeras horas, al actuar como catalizador de hidratación del aluminato del cemento, conformando la sal de Friedel:



Y a la vez acelerando la reacción entre el yeso y el  $\text{C}_3\text{A}$  y el  $\text{C}_4\text{AF}$ . Con el cloruro cálcico puede reducirse el tiempo hasta la mitad Su eficiencia es mucho mayor que los acelerantes sin cloruros, sin embargo, tienen un efecto muy fuerte en la corrosión del acero.

**Sin Cloruros:** Son aquellos que se utilizan en construcciones donde se requiera presencia de acero, entre los principales componentes de estos tenemos:

- Nitritos ( $\text{NO}_2$ )
- Nitratos ( $\text{NO}_3$ ), tiocianatos.

Su mecanismo de aceleración de fraguado funciona de dos maneras, ya sea incrementando la concentración de calcio y sobre el decrecimiento de la concentración de sulfato.

Con respecto a su eficiencia, los nitratos son acelerantes que no promueven la corrosión del acero estructural en el concreto, por el contrario, son usados como inhibidores de corrosión en países como Japón y Estados Unidos. Los nitritos también son usados

como inhibidores y acelerantes, cumpliendo con múltiples funciones.

Este tipo de aditivo acelerantes tiene un efecto notable sobre el tiempo de fraguado del concreto, aunque dependiendo de la dosis (%) también se pueden tener importantes aumentos en las resistencias tempranas.

A continuación, se presenta las dosificaciones de algunos componentes químicos y sus beneficios:

Tabla 10: Efecto de componentes químicos de los acelerantes. (SIKA, 2015)

Componentes Químicos	Valor PH	Dosis	Ventaja
Silicatos	11-13.	> 10 %	Resistencia y Fuerza adhesiva
Aluminatos	13 - 14	3% - 5%	Resistencia y Fraguado rápido
Sales de Aluminio	2 - 3.	3% - 8%	Durabilidad

#### d. Marcas:

Las principales Marcas en el mercado de Perú las cuales fabrican aditivos acelerantes son:

SIKA, CHEMA, BASF, EUCLID Y Z ADITIVOS. Sin embargo, las que tienen más presencia en el mercado de Trujillo son SIKA y CHEMA (Campos Sanchez, 2015).



Figura 5: Empresas que fabrican aditivos Tipo C en el Perú.

### 2.1.3. Diseño de mezcla del concreto convencional

El proporcionamiento de mezclas de concreto, más comúnmente llamado diseño de mezclas, es un proceso el cual consiste en seguir una cadena de pasos dependientes entre sí:

- Selección de los ingredientes a utilizar: (cemento, agregados, agua y aditivos).
- Determinación de sus cantidades relativas “proporcionamiento” para producir un concreto lo más económico como sea posible.
- Realizar un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada.

Las proporciones establecidas dependerán de cada ingrediente en particular, los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como reducir la contracción y el asentamiento, ambientes químicos especiales u otras necesidades.

Aunque se han realizado gran cantidad de investigaciones relacionados con los aspectos teóricos del diseño de mezclas, en buena parte permanece como un procedimiento empírico. Y aunque hay bastantes propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño, están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad especificada, así como una trabajabilidad apropiada. Así mismo es asumido que si se logran estas dos propiedades las otras propiedades del concreto también serán satisfactorias (excepto la resistencia al congelamiento y deshielo u otros problemas de durabilidad tales como resistencia al ataque químico). (Laura Huanca, 2006)

Mayormente el recomendable dosificar los materiales tanto en peso como volumen. Así mismo, la dosificación del cemento será de aproximadamente  $400 \text{ Kg/m}^3$ , conforme al diseño de un concreto convencional  $210 \text{ Kg/cm}^2$ . La relación agua cemento para estos diseños varían entre 0.6 a 0.66, dependiendo del módulo de finura o tamaño máximo nominal de los agregados fino y grueso respectivamente. Además del empleo de aditivos acelerantes en función al peso del cemento para dosificaciones entre el 1% y 6%.

El método a utilizar es el del ACI 211, ya que para obtener un buen resultado en el diseño de mezcla es necesario realizar ensayos previos, los cuales brinden la seguridad suficiente de obtener buenos resultados. Además de que al utilizar adiciones químicas o naturales se logre cumplir con los requisitos establecidos de acuerdo con las condiciones existentes.

Para realizar el mezclado del concreto se recomienda utilizar máquinas o plantas mezcladoras, para obtener una mezcla lo más homogénea posible, sobre cuando se requiere grandes cantidades de concreto. Además de que si se va a utilizar aditivos se debe efectuar un buen mezclado del concreto para lograr cumplir con las propiedades requeridas en estado fresco y endurecido.

#### **2.1.4. Propiedades del concreto**

##### **2.1.4.1. Propiedades en estado fresco**

Los ensayos del concreto en estado fresco son necesarios ya que gracias a ello podremos saber las propiedades que presenta el concreto y de esta manera ajustarlas a nuestras necesidades o requerimientos.

Las principales características del concreto en estado fresco varían de acuerdo con muchos factores tales como: granulometría de los agregados, modificaciones en el tamaño máximo nominal, el tipo de cemento, variación de la temperatura tanto de los materiales a utilizar como la temperatura del ambiente, peso unitario, el método de mezclado etc. (Ruiz Panduro, 2008).

##### **2.1.4.1.1. Consistencia (NTP 339.035/ASTM C143)**

La resistencia del concreto se ve seriamente afectada por el grado de compactación, por lo que la consistencia de la mezcla debe permitir su transporte, colocación y terminación sin segregación y eliminar las burbujas de aire atrapado en el concreto.

La trabajabilidad está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto esta depende de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian. Esta propiedad está representada por el grado de compacidad, plasticidad y consistencia. (Huañapi Peralta, 2015).

Según (Carrasco, Tecnología del Hormigón, 2013), hay diversos factores que afectan la trabajabilidad del concreto, entre ellos tenemos: Contenido de

agua, relación agua-cemento, relación agregado-cemento, agregados, contenido de finos, tamaño máximo nominal, aditivos y temperatura

Desafortunadamente no se conoce ninguna prueba de laboratorio o de obra que mida directamente la trabajabilidad en la forma que se definió anteriormente. Sin embargo, la prueba de asentamiento es uno de los ensayos los cuales se puede medir la consistencia del concreto.

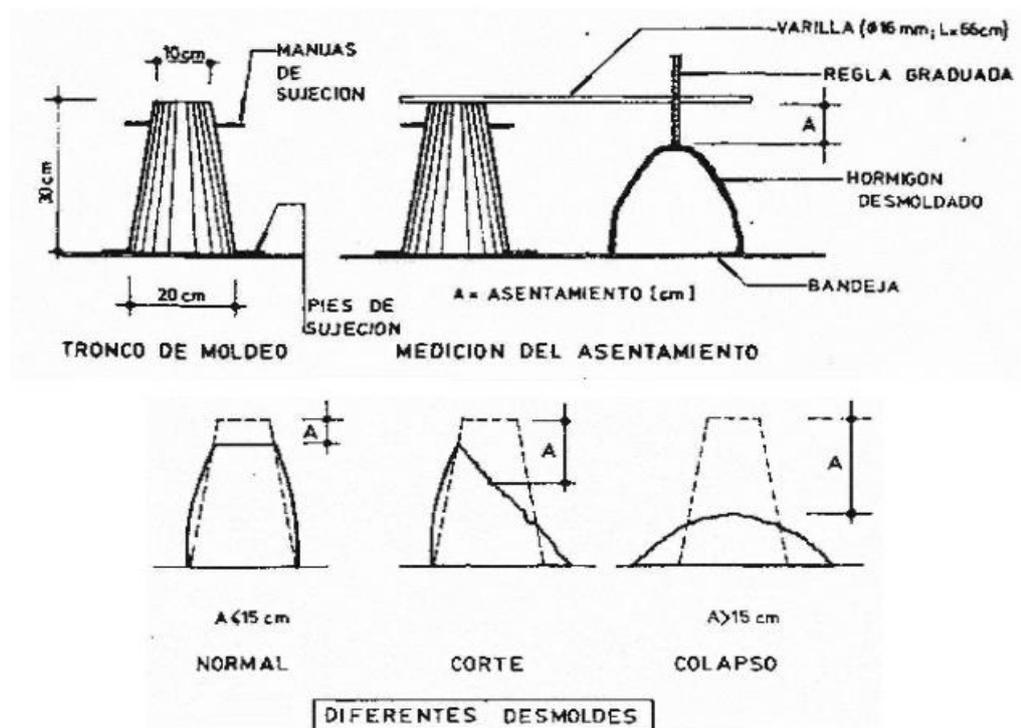


Figura 6: Ensayo de trabajabilidad o consistencia. (Carrasco, 2013)

La prueba de asentamiento es conocido como el ensayo de cono de Abrams, no mide la trabajabilidad, mide la consistencia (deformabilidad) pero es útil para detectar variaciones en la uniformidad de la mezcla de proporciones nominales determinadas; este ensayo es medido según la NTP 339.035 o ASTM C143. Además, cabe recalcar que este ensayo no es válido para concretos cuyo árido sea de tamaño mayor de 40mm, y se recomienda usar el cono de Abrams cuando los asentamientos estén comprendidos dentro de los límites  $1 \text{ cm} \geq \text{Asentamiento} \leq 21 \text{ cm}$ .

A continuación, se presenta los rangos de los ensayos con los cuales se puede determinar la consistencia del concreto.

Tabla 11: Ensayos y límites para la consistencia del concreto. (Carrasco, 2013)

Consistencia	Rango			Ensayo de evaluación Aplicable
	Remoldeo (V) (seg.)	Asentamiento (A) (cm.)	Extendido (E) (cm.)	
Muy Seca	$5 < V \leq 50 \pm 2$	-----	-----	Tiempo de remoldeo en el dispositivo Vebe
Seca	-----	$2 < A \leq 5 \pm 1$	-----	Asentamiento del Cono de Abrams
Plástica	-----	$5 < A \leq 10 \pm 2$	-----	Asentamiento del Cono de Abrams
Muy Plástica	-----	$10 < A \leq 15 \pm 2$	$50 < E \leq 55 \pm 1$	Asentamiento del Cono de Abrams y Extendido de la mesa de Graf
Fluida	-----	$15 < A \leq 18 \pm 3$ (*)	$55 < E \leq 60 \pm 2$	Asentamiento del Cono de Abrams y Extendido de la mesa de Graf
Muy Fluida	-----	-----	$60 < E \leq 65 \pm 2$	Extendido de la mesa de Graf

(\*) La tolerancia + es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20 cm.

#### 2.1.4.1.2. Tiempo de fraguado (NTP 339.082/ASTM C403)

El cambio de consistencia del concreto desde un estado fluido a rígido (fraguado), debe diferenciarse del fraguado del cemento en cuanto al objetivo de su conocimiento.

El ensayo de fraguado de cemento es un indicador de la calidad del producto y se efectúa sobre una pasta de cemento de condiciones estándar. En cambio, cuando se trata del concreto, el ensayo se realiza sobre una mezcla con las condiciones en que será utilizada en obra, y el resultado obtenido sirve para establecer el tiempo en que el material se puede colocar, compactar, terminar superficialmente, sin destruir los vínculos físico-químicos que se van formando. El fraguado es causado por una hidratación selectiva de alguno de los componentes del cemento, siendo el  $C_3A$  y  $C_3S$ , los primeros en reaccionar (Carrasco, Tecnología del Hormigón, 2013).

La norma NTP 339.082 y ASTM C 403 muestra la resistencia a la penetración para concretos de asentamiento mayor de cero. Este ensayo consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado a través de la malla No 4 de una porción del concreto fresco. Luego se somete a penetración

durante un período de horas a una profundidad de 25 mm con agujas cuyas áreas varían entre 16 y 645 mm<sup>2</sup>; la penetración se realiza en el área que indica la NTP 339.082 y ASTM C 403 (Ver Figura 8).

Con la fuerza de penetración, el área de la aguja y el tiempo transcurrido en el que se hace la medición, se grafica la curva de resistencia a la penetración vs. Tiempo (Ecuación Logarítmica o Potencial). El tiempo de fraguado inicial es aquel cuya resistencia a la penetración es de 35 kg/cm<sup>2</sup> o 3.5 MPa (500 psi) y el tiempo de fraguado final aquel que alcanza un valor de 280 kg/cm<sup>2</sup> o 27.6 MPa (4000 psi) (Ver Figura 7).

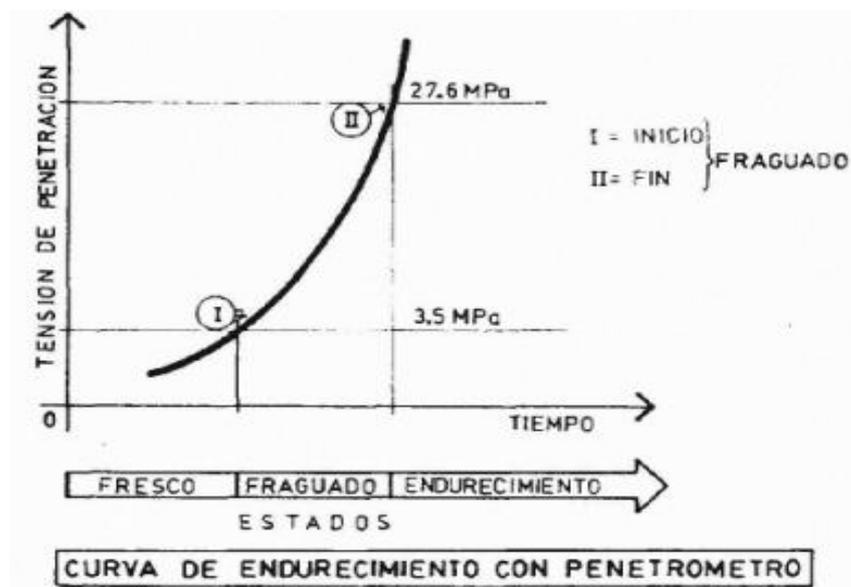


Figura 7: Curva resistencia a la penetración sobre tiempo. (Carrasco, 2013)

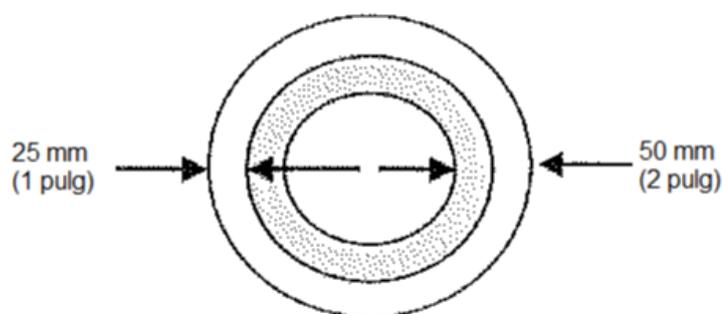


Figura 8: Área de contacto permitida para penetraciones.  
 (NTP 339.082/ASTM C403)

#### **2.1.4.2. Propiedades en estado endurecido**

La etapa del concreto en estado endurecido tiene una finalidad importante, ya que es donde podemos apreciar las propiedades mecánicas y físicas y así estimar la durabilidad del concreto. El concreto en estado endurecido es una consecuencia de cómo se desarrolló la etapa plástica; además se sabe que las resistencias mecánicas son las propiedades más importantes en estado endurecido (Ruiz Panduro, 2008).

##### **2.1.4.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034/ASTM C39)**

La resistencia a la compresión representa la condición de carga en la que el concreto exhibe su mayor capacidad para soportar esfuerzos, de tal modo que la mayoría de las veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de utilizar esta propiedad del concreto. Sumado a ello, existe la ventaja de que la resistencia a la compresión es la característica más fácil y confiable de determinar en el concreto endurecido, aunque no es una propiedad tan definida como pudiera suponerse debido a un cierto número de factores y condiciones cambiantes que intervienen en su determinación; por tal motivo, es necesario tener en cuenta las condiciones y procedimientos para determinarla (Torres Alayo, 2004).

Según la NTP339.034 y ASTM C39 la resistencia a la compresión consiste en aplicar una carga de compresión axial sobre la superficie lisa de los cilindros de concreto. Esta resistencia se obtiene al dividir la carga máxima soportada por la probeta durante la prueba entre el área de la sección transversal. El parámetro obtenido a través de este ensayo es una propiedad la cual es usada en el diseño de estructuras, dicho parámetro se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg/cm}^2$ ) o en Mega Pascales (MPa).

Además, el número de probetas que se utilizará depende de las prácticas establecidas y del enfoque de la investigación. Usualmente, se elaboran tres probetas para cada edad de curado del concreto y cada condición de prueba, los cuales permiten obtener resultados más confiables.

Las edades del concreto más utilizadas son de 3, 7, 14 y 28 días. Si la investigación lo requiere se utilizan edades de 56 y 84 días.

### **2.1.5. Control de calidad y medidas estadísticas**

Se ha comprobado que los ensayos realizados deben contrastarse con medidas estadísticas las cuales ayudan a la investigación a obtener resultados confiables.

#### **2.1.5.1. Media aritmética o promedio**

Es aquel valor obtenido tras sumar todos los datos a evaluar y dividirlos entre la misma muestra.

#### **2.1.5.2. Varianza**

También conocida como media. Es aquella medida de dispersión fundamental la cual mide la diferencia promedio que hay entre cada uno de sus valores y la media aritmética.

#### **2.1.5.3. Desviación estándar**

Es la medida de dispersión más común utilizada en trabajos de investigación, la cual indica como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre todos los datos y la media, es decir indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos.

#### **2.1.5.4. Coeficiente de variación**

Se hace referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable. Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media.

Esta medida estadística no se basa en unidades, se utiliza en lugar de la desviación estándar según la ASTM C39, la cual brinda rangos según la confiabilidad de los datos. Para poder comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, esta se representa en porcentaje. Además, se sabe que a mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los datos de la variable; y a menor coeficiente de variación, mayor homogeneidad en los datos de la variable.

## 2.2. Hipótesis

A través del incremento de la dosificación de los aditivos tipo C en función al peso del cemento en el concreto, se aumentará la resistencia a la compresión a edades tempranas, trabajabilidad y se producirá una reducción del tiempo de fraguado en la mezcla.

Al utilizar diferentes marcas de aditivos Tipo C, se verá el efecto de cada uno de estos sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado del concreto, su influencia económica y la vez el cumplimiento de los requisitos mínimos impuestos por la ASTM C494.

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Operacionalización de variables

*Tabla 12: Matriz de operacionalización de variables.*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Aditivos Tipo C</b>	Sustancias químicas que reducen el tiempo de transición de estado plástico a rígido y aumentan el desarrollo de resistencias iniciales.	Propiedades Físicas y Químicas	- Función - Clasificación según la Noma ASTM C494 - Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Curado</b>	Exposición del concreto en agua para mejorar las propiedades en estado endurecido.	-Tiempo -Clima	- Días - Estación
<b>Compresión</b>	Capacidad de un material de soportar una carga sobre una unidad de área.	-Forma -Tamaño -Esfuerzo a compresión	- Área bruta (cm <sup>2</sup> ) - Carga de rotura (Kg) - Velocidad de carga (KN/seg)
<b>Fraguado</b>	Tiempo necesario para que la mezcla pase de estado fluido a rígido.	-Condiciones ambientales. -Resistencia a la Penetración	- Carga (Lb) - Área (pulg <sup>2</sup> ) - Tiempo (min) - Temperatura (°C)
<b>Trabajabilidad</b>	Indicador de la facilidad de trabajo con el concreto.	-F'c de diseño. -Relación agua/cemento	- Asentamiento (cm)

### **3.2. Diseño de investigación**

El diseño de la presente tesis es Cuasi-Experimental ya que se puede manipular uno o más aditivos acelerantes tipo C a diferentes días de curado para observar los cambios en el concreto, además se pretende establecer el posible efecto del aditivo que se manipula.

### **3.3. Unidad de estudio**

Para la evaluación de la presente investigación se toma en cuenta como unidad de estudio un concreto convencional, el cual será ensayado bajo las Normas Técnicas Peruanas vigentes.

### **3.4. Población**

Concreto convencional con aditivos acelerantes Tipo C.

### **3.5. Muestra**

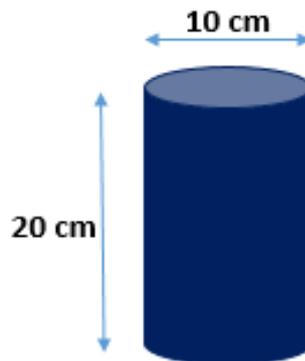
Para el cálculo de la muestra se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, pues los elementos a utilizar dependen del conocimiento y criterio del investigador sobre el tema. Además, la muestra seleccionada por este método cumple los requisitos mínimos propuestos por el American Concrete Institute (ACI), el cual establece en el apartado 318-14, que para muestras de 10 cm x 20 cm se conformen 3 probetas por cada nivel de estudio y variable. También se pretende cubrir los suficientes datos de cada ensayo para brindar excelentes resultados. Asimismo, se usará, cemento Pacasmayo Tipo Ico, agua potable, arena gruesa, grava de ½" y los aditivos Chema 3, Sika Rapid-1 y MasterSet AC534.

Por ello se conformarán 3 probetas por nivel de estudio y por variable; elaborándose 2646 Kg de mezcla de concreto para realizar ensayos en estado fresco y 252 probetas cilíndricas de concreto para ensayos en estado endurecido.

Esta cantidad de probetas es necesaria debido a que se evaluarán los aditivos a porcentajes de adición del 1 al 6% para encontrar su porcentaje óptimo de cada aditivo, además la ASTM C494 nos pide evaluar los aditivos tipo C a edades de 3, 7 y 28 días como mínimo. Por ello, se evaluarán a 3,7,14 y 28 días de curado para observar mejor la evolución de la resistencia de un concreto con aditivos Tipo C.

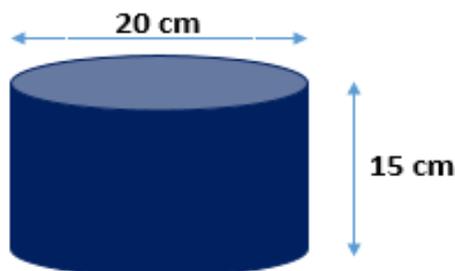
**Resistencia a la Compresión:** Se elaborará 252 probetas de concreto en estado endurecido con adición de acelerantes Tipo C, debido a que se requiere encontrar el porcentaje óptimo de cada aditivo evaluado, además se requiere determinar la resistencia a 3,7,14 y 28 días de curado, verificando el cumplimiento de la ASTM C494.

Las probetas tienen dimensiones de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, para efectuar el ensayo a compresión conforme a la NTP 339.034 (“Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”).



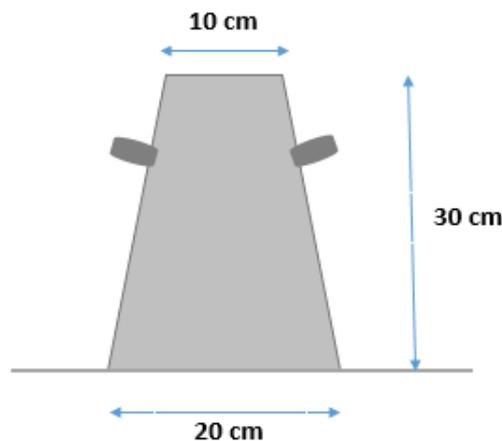
*Figura 9: Probeta para ensayo a compresión*

**Tiempo de Fraguado:** Se elaborará 63 muestras de mortero, el cual se obtendrá al tamizar el concreto en estado fresco con adición de aditivos Tipo C por la malla N°4, debido a que se requiere ver la influencia de cada porcentaje de adición para cada aditivo evaluado utilizando un número de réplicas de 3 probetas según la NTP 339.082. Las probetas tienen dimensiones de 20 cm de diámetro por 15 cm de altura, ya que, para efectuar el ensayo de penetración según la NTP 339.082 (“Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración”) se requiere de dimensiones mínimas de 6” x 6” (15 cm x 15 cm).



*Figura 10: Probeta para ensayo del tiempo de fraguado.*

**Ensayo de Trabajabilidad:** Se elaborará 63 muestras de concreto en estado fresco con adición de aditivos Tipo C, debido a que se requiere ver la influencia de cada porcentaje de adición para cada aditivo evaluado utilizando un número de réplicas de 3 probetas para efectuar el ensayo de Consistencia bajo la NTP 339.035 (“Método de ensayo para la medición del Asentamiento del concreto con el cono de Abrams”).



*Figura 11: Probeta para ensayo de consistencia.*

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnica e Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos de esta investigación se realizó un diseño cuasi-experimental, donde se varía la cantidad y el tipo de aditivo Tipo C a diferentes días de curado en un concreto convencional.

#### **Observación Directa:**

Se utilizará esta técnica porque se recolectará datos a través de la percepción intencionada, en condiciones que se puedan contrastar y manejar. Por lo tanto, la observación se aplicará a todos los ensayos a realizar bajo la única responsabilidad del investigador, ya que la tesis requiere la observación de los fenómenos que se presentan en la variable dependiente con el fin de obtener la información necesaria para la investigación.

### **Análisis Documental:**

Los datos se recolectarán de fuentes secundarias como: Tesis (tanto nacionales como internacionales), Normas (ACI, ASTM y NTP), Artículos, Sitios Web, Libros, Documentos, Revistas, Blogs, Informes, entre otros; los cuales son citados y están mencionados en las referencias bibliográficas. Con el fin de utilizar la información recolectada para el correcto análisis de las variables y poder cumplir con el propósito de la investigación.

### **Ensayos de Laboratorio:**

Esta técnica mencionada es la principal con la cual se llevará a cabo la recolección de datos; los ensayos a los testigos de concreto convencional que se realizarán en esta investigación son: Resistencia a la Compresión a los 3, 7, 14 y 28 días basándonos en la NTP 339.034/ASTM C39, Ensayo de Tiempo de Fraguado de acuerdo con la NTP 339.082/ASTM C403 y Ensayo de Consistencia conforme a la NTP 339.035/ASTM C143. Todos estos ensayos son realizados para poder ver la influencia de los acelerantes en el concreto según la Norma ASTM C494.

Los datos obtenidos en los ensayos mencionados serán colocados en tablas de resumen.

### **Variable Dependiente:**

**Factor A:** Propiedades en estado Fresco- Endurecido

$a_1$  = Resistencia a la compresión ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ),  $a_2$  = Tiempo de Fraguado (min),  
 $a_3$  = Trabajabilidad (cm).

### **Variable Independiente:**

**Factor B:** Edades de curado del concreto

$b_1$  = 3 (días),  $b_2$  = 7 (días),  $b_3$  = 14 (días),  $b_4$  = 28 (días).

**Factor C:** Marcas de aditivos Tipo C.

$c_1$  = Chema 3 (CHEMA),  $c_2$  = Sika Rapid-1 (SIKA),  $c_3$  = MasterSet AC534 (BASF).

**Factor D:** % de adición del aditivo Tipo C en función al peso del cemento.

$d_0$  = Patron 0 %/Kg,  $d_1$  = 1 %/Kg,  $d_2$  = 2 %/Kg,  $d_3$  = 3 %/Kg,  $d_4$  = 4 %/Kg,  $d_5$  = 5 %/Kg,  
 $d_6$  = 6 %/Kg.

El número total de ensayos realizados para un concreto convencional:

Donde:

VI= Variable Independiente

VD= Variable dependiente

- **En estado Fresco:**

Nº de muestras en estado fresco para Fraguado: VI x VD x N° de réplicas:

[(% adición) x (Tipo de Marca) x (Edad)] x Tiempo de Fraguado x N° de réplicas

Tiempo de Fraguado (a<sub>2</sub>): [(7) x (3) x (1)] x 1 x 3 = 63

Nº de muestras en estado fresco para Trabajabilidad: VI x VD x N° de réplicas:

[(% adición) x (Tipo de Marca) x (Edad)] x Trabajabilidad x N° de réplicas

Tiempo de Fraguado (a<sub>3</sub>): [(7) x (3) x (1)] x 1 x 3 = 63

**Nº de muestras en estado fresco:** a<sub>2</sub> + a<sub>3</sub> = 63 + 63 = 128

Cantidad en kilogramos: 63 x 21 + 63 x 21 = 2688 Kg

- **En estado Endurecido:**

Nº de muestras en estado endurecido para Compresión: VI x VD x N° de réplicas:

[(% adición) x (Tipo de Marca) x (Edad)] x Compresión x N° de réplicas

Tiempo de Fraguado (a<sub>1</sub>): [(7) x (3) x (4)] x (1) x (3) = 252

**Nº de muestras en estado endurecido:** a<sub>1</sub>= 252

**Nº de muestra total:** Muestra en estado Fresco + Muestra en estado endurecido

$$128 + 252 = 378$$

Tabla 13: Matriz de diseño experimental para propiedades del concreto en estado fresco.

		a2							a3						
		D							D						
		d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6
C	c1	a2c1 d0	a2c1 d1	a2c1 d2	a2c1 d3	a2c1 d4	a2c1 d5	a2c1 d6	a2c1 d0	a3c1 d1	a3c1 d2	a3c1 d3	a3c1 d4	a3c1 d5	a3c1 d6
	c2	a2c2 d0	a2c2 d1	a2c2 d2	a2c2 d3	a2c2 d4	a2c2 d5	a2c2 d6	a2c2 d0	a3c2 d1	a3c2 d2	a3c2 d3	a3c2 d4	a3c2 d5	a3c2 d6
	c3	a2c3 d0	a2c3 d1	a2c3 d2	a2c3 d3	a2c3 d4	a2c3 d5	a2c3 d6	a2c3 d0	a3c3 d1	a3c3 d2	a3c3 d3	a3c3 d4	a3c3 d5	a3c3 d6

Tabla 14: Matriz de diseño experimental para propiedades del concreto en estado endurecido.

		a1																											
		b1							b2							b3							b4						
		D							D							D							D						
		d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6
C	c1	a1b1 c1d0	a1b1 c1d1	a1b1 c1d2	a1b1 c1d3	a1b1 c1d4	a1b1 c1d5	a1b1 c1d6	a1b2 c1d0	a1b2 c1d1	a1b2 c1d2	a1b2 c1d3	a1b2 c1d4	a1b2 c1d5	a1b2 c1d6	a1b3 c1d0	a1b3 c1d1	a1b3 c1d2	a1b3 c1d3	a1b3 c1d4	a1b3 c1d5	a1b3 c1d6	a1b4 c1d0	a1b4 c1d1	a1b4 c1d2	a1b4 c1d3	a1b4 c1d4	a1b4 c1d5	a1b4 c1d6
	c2	a1b1 c2d0	a1b1 c2d1	a1b1 c2d2	a1b1 c2d3	a1b1 c2d4	a1b1 c2d5	a1b1 c2d6	a1b2 c2d0	a1b2 c2d1	a1b2 c2d2	a1b2 c2d3	a1b2 c2d4	a1b2 c2d5	a1b2 c2d6	a1b3 c2d0	a1b3 c2d1	a1b3 c2d2	a1b3 c2d3	a1b3 c2d4	a1b3 c2d5	a1b3 c2d6	a1b4 c2d0	a1b4 c2d1	a1b4 c2d2	a1b4 c2d3	a1b4 c2d4	a1b4 c2d5	a1b4 c2d6
	c3	a1b1 c3d0	a1b1 c3d1	a1b1 c3d2	a1b1 c3d3	a1b1 c3d4	a1b1 c3d5	a1b1 c3d6	a1b2 c3d0	a1b2 c3d1	a1b2 c3d2	a1b2 c3d3	a1b2 c3d4	a1b2 c3d5	a1b2 c3d6	a1b3 c3d0	a1b3 c3d1	a1b3 c3d2	a1b3 c3d3	a1b3 c3d4	a1b3 c3d5	a1b3 c3d6	a1b4 c3d0	a1b4 c3d1	a1b4 c3d2	a1b4 c3d3	a1b4 c3d4	a1b4 c3d5	a1b4 c3d6

### 3.6.2. Técnicas, procedimientos e instrumentos

#### 3.6.2.1. Procedimiento Experimental

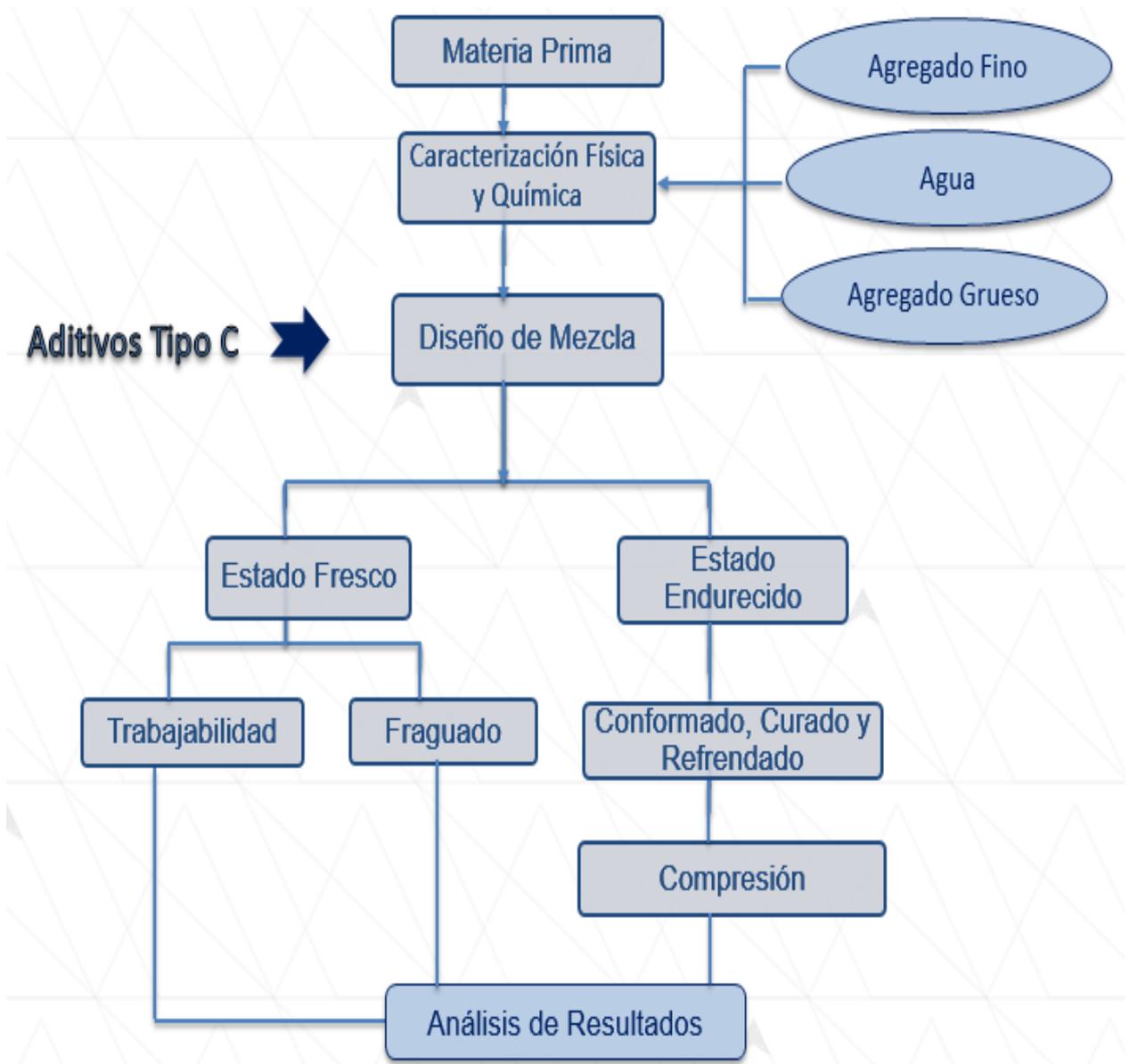


Figura 12: Proceso experimental

## **A. Materia prima**

### **A.1. Cemento**

Para el presente proyecto de investigación se utiliza el Cemento Tipo Ico para la elaboración de un concreto convencional, el cual es suministrado por Cementos Pacasmayo y es considerado para uso general con adiciones. Este cemento cumple con la NTP 334.090/ASTM C595, para cementos adicionados. Sus principales características físicas, químicas y principales propiedades se pueden observar en la ficha Técnica que brinda Cementos Pacasmayo (Ver Anexo 9).

Además, el cemento se adquirió en la Tienda Maestro ubicado en Av. América Sur 1451, Trujillo 13007. Asimismo, el precio de compra es de S/. 22.60 por bolsa de cemento, tal y como se muestra en el Anexo 10.

### **A.2. Agua**

Para el amasado y curado de la mezcla de concreto se utilizó agua potable de la ciudad de Trujillo, ya que es el lugar donde se realizó la presente tesis.

### **A.3. Agregados**

Para la elaboración de la investigación se partió en buscar un agregado que este más accesible y cerca al lugar de la investigación. Empleamos los agregados de la cantera Rubio-Jaén del sector el Milagro.

### **A.4. Aditivos Tipo C**

Para el desarrollo de la presente tesis se adquirió dos acelerantes de Fragua (Chema 3 y MasterSet AC534) y un acelerante de Resistencias (Sika Rapid-1). Los aditivos Chema 3 y Sika Rapid-1 se adquirieron en la distribuidora Dávila SA ubicada en Av. María Eguren 405, Urb. Palermo- Trujillo.

Por otro lado, el aditivo MasterSet AC 534 se adquirió a través de una solicitud (Ver Anexo 5), con lo cual se recogió de la misma empresa Basf Construction Chemicals Peru SA ubicada en la Av. Plácido Jiménez 1041, Cercado de Lima 15003 - Lima.

Asimismo, las principales características, propiedades, especificaciones, dosificaciones, etc. de cada aditivo se detallan en su Hoja Técnica (Ver Anexos 6, 7 y 8). Según de la NTP 334.088 y ATSM C494 los aditivos deben cumplir los requisitos de la Tabla 15.

Tabla 15: Requisitos para los aditivos Tipo C. (NTP 334.088/ASTM C494)

Características		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G
Nombre genérico		Reductor de agua	Retardante de fraguado	Acelerante	Reductor de agua y retardante	Reductor de agua y acelerante	Reductor de agua de alto rango	Reductor de agua de alto rango y retardante
Reducción de agua, % mín		5	-----	-----	5	5	12	12
Tiempo de fraguado	Inicial (horas)	de -1:00 máx.	de +1:00 min.	de -1:00 min.	de +1:00 min.	de -1:00 min.	de -1:00 máx.	de +1:00 min.
		a +1:30 máx.	a +3:30 máx.	a -3:30 máx.	a +3:30 máx.	a -3:30 máx.	a +1:30 máx.	a +3:30 máx.
	Final (horas)	de -1:00 máx.	a +3:30 máx.	a -1:00 min.	a +3:30 máx.	a -1:00 min.	de -1:00 máx.	a +3:30 máx.
		a + 1:30 máx.					a + 1:30 máx.	
Resistencia a compresión % mín. vs Testigo	1 día	-----	-----	-----	-----	-----	140	125
	3 días	110	90	125	110	125	125	125
	7 días	110	90	100	110	110	115	115
	28 días	110	90	100	110	110	110	110
	3 meses	100	90	90	100	100	100	100
	1 año	100	90	90	100	100	100	100
Resistencia a flexión % mín. vs Testigo	3 días	100	90	110	100	110	110	110
	7 días	100	90	100	100	100	100	100
	28 días	100	90	90	100	100	100	100

## B. Caracterización física y química

### B.1. Caracterización física

#### B.1.1. Ensayo granulométrico

##### B.1.1.1. Ensayo granulométrico del agregado fino (NTP 400.012/ASTM C136)

- Se pesa tres muestras de agregado fino de 1000 gr cada una para ser ensayadas. Después se pesa cada tamiz para poder obtener el peso de cada uno. (N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y Fondo).
- Luego se coloca los tamices de manera ordenada desde un diámetro mayor a menor (desde la N°4 hasta la N°200), consecutivamente se coloca en la mesa vibratoria.
- Seguido se coloca la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por cinco minutos.
- Al terminar el tiempo de vibración, se pesa cada tamiz con la muestra retenida en una balanza analítica de 0.1 gramos con capacidad de 2000 gramos, y así obtener el peso retenido.
- El mismo proceso se realiza para las tres muestras. Se debe tener en cuenta los límites de la NTP 400.037 y ASTM C33. El módulo de finura se calcula con la siguiente formula:

*Ecuación 1: Módulo de finura*

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

*Tabla 16: Esquema del análisis granulométrico del agregado fino.*

N° Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (gr)	Peso de tamiz + Muestra (gr)	Peso retenido (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acum. (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°1/2"	12.5						
N° 3/8"	9.5						
N° 4	4.75						
N° 8	2.36						
N° 16	1.18						
N° 30	0.60						
N° 50	0.30						
N° 100	0.15						
N° 200	0.08						
Fondo	0						
Sumatoria							
M.F=							

Asimismo, el agregado fino debe cumplir con los requisitos mínimos impuestos por la ASTM C33, la cual se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17: Límites granulométricos del agregado fino. (NTP 400.037/ASTM C33)

Límites granulométricos del agregado fino			
Tamiz	Abertura (mm)	Límite inferior (%)	Límite superior (%)
3/8"	9.50	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.60	25	60
N° 50	0.30	5	30
N° 100	0.15	0	10
N° 200	0.075	0	5

#### B.1.1.2. Ensayo granulométrico del agregado grueso (NTP 400.012/ASTM C136)

- Se pesa tres muestras de agregado grueso de 2000 gr cada una para ser ensayadas.
- Después se pesa cada tamiz para poder obtener el peso de cada uno. (2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y Fondo).
- Luego se coloca los tamices de manera ordenada desde un diámetro mayor a menor (desde 2" hasta la N°8), consecutivamente se coloca en la mesa vibratoria.
- Seguido se coloca la muestra en los tamices y luego se prendió la mesa vibratoria por cinco minutos.
- Al terminar el tiempo de vibración, se pesa cada tamiz con la muestra retenida, para así obtener el peso retenido en cada tamiz.
- Este mismo proceso se realiza para las tres muestras y el tamaño máximo y tamaño máximo nominal se calcula según lo establecido en la NTP 400.012 y ASTM C136.
- Se debe tener en consideración dos factores importantes en este proceso.

**Tamaño máximo nominal:** Es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

**Tamaño máximo:** Malla de tamaño inmediatamente superior al del tamaño máximo nominal.

Tabla 18: Esquema del análisis granulométrico del agregado grueso.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (gr)	Peso de tamiz + Muestra (gr)	Peso retenido (gr)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido acum. (%)	Porcentaje Que pasa (%)
N° 2"	50.80						
N° 1 1/2"	38.10						
N° 1"	25.40						
N° 3/4"	19.05						
N° 1/2"	12.70						
N° 3/8"	9.50						
N° 4	4.75						
N° 8	2.36						
Fondo	0						
Sumatoria							
TMN=							
TM=							

Además, el agregado grueso debe cumplir con los requisitos mínimos impuestos por la ASTM C33 para un TMN de 1/2", la cual se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19: Límite granulométrico del agregado grueso (1/2"). (NTP 400.037/ASTM C33)

Límites granulométricos del agregado grueso (1/2")			
Tamiz	Abertura (mm)	Límite inferior (%)	Límite superior (%)
N°1 1/2"	38.10	100	100
N°1"	25.40	100	100
N°3/4"	19.05	100	100
N°1/2"	12.70	90	100
N°3/8"	9.50	40	70
N°4	4.75	0	15
N°8	2.36	0	5

Asimismo, para el cálculo del % Que Pasa, % Retenido y % Retenido Acumulado se utilizan las siguientes fórmulas:

Ecuación 2: Porcentaje retenido

$$\% \text{ Retenido} = \frac{P. \text{retenido}}{P. \text{total}} \times 100$$

*Ecuación 3: Porcentaje retenido acumulado*

$$\%Ret. acum. = \left[ \sum \% Ret. \right] + anterior$$

*Ecuación 4: Porcentaje que pasa*

$$\% Que pasa = [100 - \%Ret. acum. ]$$

## **B.1.2. Contenido de humedad**

### **B.1.2.1. Contenido de humedad del agregado fino y grueso (NTP 339.185/ASTM C566)**

- Se toma el peso de tres taras para colocar la muestra de agregado fino (1000 gr) y otras tres taras para colocar la muestra de agregado grueso (2000 gr).
- Luego se coloca cada muestra en cada tara y se toma el peso en estado natural (Ph) en una balanza analítica.
- Después se coloca en la estufa a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas y se pesa (Ps).
- Este procedimiento se realiza tanto para el agregado Fino como Grueso. Así mismo mediante la siguiente fórmula se calcula el contenido de humedad:

*Ecuación 5: Contenido de humedad*

$$W\% = \left[ \frac{Ph - Ps}{Ps} \right] \times 100$$

Donde:

Ph: Peso en estado natural de la muestra.

Ps: Peso seco de la muestra.

Además, la ASTM C566 no indica rangos específicos para el contenido de humedad de los agregados, sin embargo, exige que el contenido de humedad sea menor que la absorción. Asimismo, exige una desviación estándar máxima de 0.92% para tres valores.

Tabla 20: Esquema del contenido de humedad de los agregados.

Material	Número	Peso de la tara (gr)	Peso de la tara + Muestra natural (gr)	Peso de la tara + Muestra seca (gr)	Peso de la muestra natural (gr) "Ph"	Peso de la muestra seca (gr) "Ps"	Humedad (%) "W"
Agregados	E1						
	E2						
	E3						
						Promedio	

### B.1.3. Peso unitario

#### B.1.3.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso (NTP 400.017/ASTM C29)

Esta Norma establece la determinación de la densidad de masa (Peso Unitario) del agregado en condición suelto o compactado tanto para el agregado fino como grueso, y así poder establecer las proporciones de mezclas correctas.

- Se obtiene el peso del molde vacío.
- Luego se vierte agua en el molde hasta llenarlo, consecutivamente se toma el peso, esto nos sirve para calcular el volumen ( $V$ )  $m^3$  del molde.
- Después se vierte la muestra de agregado en el molde a una altura aproximada de 15 centímetros sobre el borde superior del molde, hasta llenarlo (Para el caso del peso unitario compactado se hace en 3 capas iguales de material en el recipiente, cada capa se compacta uniformemente en todo el recipiente con una varilla normada 25 veces y con un martillo de goma de 500 gr se golpea el molde 12 veces de forma circular y se enraza la superficie). Para el peso suelto se llena el material sin compactación (estado natural).
- Se enraza la superficie.
- Finalmente se pesa el molde con la muestra y mediante esta fórmula se determina el peso unitario suelto y compactado.
- Los resultados se calcularon con las siguientes formulas:

*Ecuación 6: Peso unitario suelto*

$$PUSS = \frac{\text{Peso del agregado suelto} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

*Ecuación 7: Peso unitario compactado*

$$PUCS = \frac{\text{Peso del agregado compactado} - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}}$$

*Ecuación 8: Volumen*

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

Además, se recomienda rangos específicos para el peso unitario suelto de 1500-1800 Kg/m<sup>3</sup> y 1400-1600 Kg/m<sup>3</sup> para el agregado fino y grueso respectivamente, asimismo para el peso unitario compactado de 1600-1900 Kg/m<sup>3</sup> y 1500-1700 Kg/m<sup>3</sup> para el agregado fino y grueso respectivamente. Por otro lado, la ASTM C29 exige una desviación estándar máxima de 46 Kg/m<sup>3</sup> para el agregado fino y grueso utilizando tres valores.

A continuación, se muestra la Tabla 21, en la cual se obtendrá la densidad del agua según la temperatura.

*Tabla 21: Densidad del agua según la temperatura*

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> )
10	0.99997026
11	0.99996084
12	0.9995004
13	0.9993801
14	0.9992474
15	0.9991026
16	0.998946
17	0.9987779
18	0.9985986
19	0.9984082
20	0.9982071
21	0.9979955
22	0.9977735
<b>23</b>	<b>0.9975415</b>
24	0.9972995
25	0.9970479
26	0.9969968
27	0.9965162
28	0.9962365
29	0.9959478
30	0.9956502

Tabla 22: Esquema del volumen del molde de peso unitario.

Material	Número	Peso del molde (Kg)	Peso del molde + agua (Kg)	Peso del agua (Kg)	Factor del agua (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen del molde (m <sup>3</sup> )
Volumen del Agua	E1				997.5	
	E2				997.5	
	E3				997.5	
					<b>Promedio</b>	

Tabla 23: Esquema de peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Material	Número	Peso del molde (Kg)	Peso del molde + Muestra suelta (Kg)	Peso del molde + Muestra compactada (Kg)	Peso de la muestra suelta (Kg)	Peso de la muestra compactada (Kg)	Volumen del molde (m <sup>3</sup> )	Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )
Agregados	E1								
	E2								
	E3								
							<b>Promedio</b>		

#### B.1.4. Gravedad específica y absorción

##### B.1.4.1. Gravedad específica y absorción del agregado fino (NTP 400.022/ASTM C128)

- Este ensayo inicia con la preparación de la muestra por cuarteo, utilizando aproximadamente 1000 gr del material seleccionado, para ser sumergida en agua por 24 horas.
- Luego se toma la muestra y se coloca en una bandeja de metal la cual se debe poner sobre una cocina pequeña para secarla uniformemente hasta llegar a un estado de seca superficialmente.
- Después se toma el cono con diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm y se rellena con tres capas iguales compactando 25 veces cada capa con el pisón de un peso de 340 gramos y con un diámetro de 25 mm. Si al quitar el cono, la muestra se derrumba 1/3 del toda la muestra desde arriba hacia abajo, esto demuestra que el agregado ha alcanzado su condición saturada superficialmente seca. Si no ocurre esto se debe volver a hacer el mismo procedimiento.
- En el caso que se cumplan todas las condiciones anteriores, se toma el peso de la fiola con agua hasta 500 ml (B), luego se bota el agua, se coloca la muestra en la fiola, llena con agua hasta 500 ml y se procede a

eliminar todas las burbujas de aire, haciendo rodar la fiola durante un minuto o el tiempo que sea necesario, sobre una superficie plana.

- Consecutivamente se pesa la fiola con el agua y la muestra (C), se deja reposar la muestra dentro de la fiola para que esta se asentara. Después se bota el agua, la muestra se pone en una tara cuidadosamente (D) y se coloca en la estufa a 100 ° C aproximadamente 24 horas.
- Finalmente se obtiene el peso de la muestra seca al horno (A). Y con las siguientes formulas se determina el peso específico y absorción.

*Ecuación 9: Densidad seca del agregado fino*

$$\text{Densidad Seca} = \frac{A}{B + D - C}$$

*Ecuación 10: Densidad saturada superficialmente seca del agregado fino*

$$\text{Densidad Saturada Superficialmente Seca (S.S.S)} = \frac{D}{B + D - C}$$

*Ecuación 11: Densidad aparente del agregado fino*

$$\text{Densidad Aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

*Ecuación 12: Absorción del agregado fino*

$$\text{Absorción (\%)} = \left(\frac{D - A}{A}\right) \times 100 (\%)$$

Donde:

- A=Peso al aire de la muestra seca (gr)
- B=Peso de la fiola aforado lleno de agua (gr)
- C=Peso total de la fiola con muestra y llena de agua (gr)
- D=Peso de la muestra saturada, con superficie seca (gr)

Además, se recomienda rangos específicos para la densidad de 2.5-2.9 g/cm<sup>3</sup> y una absorción entre 0.2-5% para el agregado fino.

Por otro lado, la ASTM C128 exige una desviación estándar máxima de 31 g/cm<sup>3</sup> y 0.36% para la densidad y absorción respectivamente utilizando tres valores.

Tabla 24: Esquema de peso específico y absorción del agregado fino.

Material	Número	Peso de muestra seca al horno (gr) "A"	Peso de fiola + agua (gr) "B"	Peso de fiola + agua + Muestra (gr) "C"	Peso de muestra saturada (gr) "D"	% Absorción	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad saturada superficialmente seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
Agregado Fino	E1								
	E2								
	E3								
	Promedio								

#### B.1.4.2. Gravedad específica y absorción del agregado grueso (NTP 400.021/ASTM C127)

- Este ensayo inicia cuando se prepara la muestra por cuarteo (2000 gr).
- Luego se sumerge la muestra dentro del agua por un periodo de 24 horas.
- Después se saca la muestra y se seca superficialmente, consecutivamente se tamiza por la malla No. 4 para poder eliminar material fino.
- Se procede a pesar la muestra saturada (B).
- Se coloca en la canasta de alambre suspendida y se procede a tomar el peso suspendido en el agua a una temperatura de 20°C (C).
- Finalmente se seca la muestra a una temperatura de 100°C ± 5°C en el horno, para así tomar el peso seco (A).
- La gravedad específica o peso específico y absorción se determinan con las siguientes fórmulas:

Ecuación 13: Densidad seca del agregado grueso

$$Densidad\ seca = \frac{A}{B - C}$$

*Ecuación 14: Densidad saturada superficialmente seca del agregado grueso*

$$\text{Densidad saturada superficialmente seca} = \frac{B}{B - C}$$

*Ecuación 15: Densidad aparente del agregado grueso*

$$\text{Densidad aparente} = \frac{A}{A - C}$$

*Ecuación 16: Absorción del agregado grueso*

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100 (\%)$$

Donde:

- A: Peso en el aire de la muestra seca (gr).
- B: Peso en el aire de la muestra saturada (gr).
- C=Peso suspendido de la muestra (gr)

Además, se recomienda rangos específicos para la densidad de 2.4-2.8 g/cm<sup>3</sup> y una absorción entre 0.2-3% para el agregado grueso.

Por otro lado, la ASTM C127 exige una desviación estándar máxima de 23 g/cm<sup>3</sup> para la densidad y no muestra un rango para la absorción utilizando tres valores.

*Tabla 25: Esquema de peso específico y absorción del agregado grueso.*

Material	Número	Peso de muestra seca al horno (gr) "A"	Peso de muestra saturada con superficie seca (gr) "B"	Peso de muestra sumergida en agua (gr) "C"	% Absorción	Densidad seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad saturada superficialmente seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
Agregado Grueso	E1							
	E2							
	E3							
				<b>Promedio</b>				

## B.2. Caracterización química

### B.2.1. Evaluación química del agregado grueso y fino (NTP 400.042)

Este ensayo se lleva a cabo con el propósito de comprobar que los áridos cumplan con los límites permisibles que señala la norma NTP 400.042 y ver sus principales propiedades químicas.

- Se coloca 3 vasos de Pírex de 250 ml, cada uno contiene 50 gr del agregado fino y 100gr de agua destilada y otros 3 vasos de pírex con 50 gr del agregado grueso y con 100 gr agua destilada.
  - Luego se embala con plástico cada vaso para que al reposar en agua no sea alterada por el cambio de temperatura.
  - Se dejó reposar 72 horas, para después tomar lectura con el medidor de cloruros (ppm) y Sales solubles totales (p.p.m.).
  - Finalmente se coloca con cuidado el electrodo en cada vaso de Pírex y se toma nota el valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo
- Además, la NTP 400.042 indican rangos para cloruros solubles <600 (p.p.m.) y para sales solubles totales en suspensión <1300 (p.p.m.).

Tabla 26: Esquema de composición química del agregado fino y grueso

Componente	Cloruros solubles (p.p.m.)	Sales solubles totales (p.p.m.)
Agua con agregado fino		
Agua con agregado grueso		

### B.2.2. Agua (NTP 339.088)

El agua de diseño tiene que cumplir los límites mostrados en la Tabla 8 (NTP 339.088), por lo que se realiza el presente ensayo, teniendo en cuenta que para la conductividad y Ph la SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento), indica que el agua potable debe tener una conductividad a 25°C menor a 1500 uS/cm y un Ph entre 5.5 y 8.

- Se coloca 3 vasos de Pírex con 150 ml de agua destilada y otros 3 vasos con 150 ml de agua potable.

- Se deja reposar como mínimo durante 24 horas y se cubre las muestras con plástico impermeable, para luego tomar lectura con el medidor de salinidad (ppm), Sólidos Suspendidos Totales (p.p.m.) y conductividad (us/cm).
- Se coloca el electrodo en cada vaso de Pírex y se toma nota el valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo.

Tabla 27: Esquema de composición química del agua.

Componente	Cloruros (p.p.m.)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos suspendidos totales (p.p.m.)	Ph
Agua potable				

### C. Diseño de mezcla (ACI -211)

El procedimiento de diseño se realiza según al procedimiento que manda el American Concrete Institute ACI-211.

#### Paso 1: Selección del asentamiento (pulg.) según el tipo de estructura

Tabla 28: Asentamiento recomendado según el tipo de construcción. (ACI-211,2002)

Tipos de Construcción	Asentamiento (pulg.)	
	Máximo	Máximo
Muros de Cimentación y Zapatas	3"	1"
Cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas para edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	3"	1"
Concreto masivo	3"	1"

Se selecciona un Asentamiento de 3" a 4" ya que el proyecto está enfocado en la construcción de columnas y losas aligeradas.

### Paso 2: Elección del tamaño máximo (TM) y tamaño máximo nominal (TMN) del agregado.

Según nuestros ensayos de granulometría se obtiene un Tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " y un Tamaño Máximo Nominal de  $\frac{1}{2}$ ". Además, se debe tener en cuenta los requisitos de la Tabla 29.

Tabla 29: Consideraciones según el tamaño máximo del agregado. (ACI-211,2002)

El tamaño máximo no debe exceder
-1/5 del espacio más angosto entre las formas laterales
-1/3 del espesor de la losa
-3/4 del espacio libre entre las varillas y alambres individuales del refuerzo

### Paso 3: Cálculo del agua de mezclado

Se selecciona el agua de mezclado según el TMN y el Asentamiento establecido anteriormente, teniendo en cuenta que se trabaja con un concreto sin aire incorporado. Ver Tabla 30.

Tabla 30: Elección del agua de mezclado según el TMN y asentamiento. (ACI-211, 2002)

Asentamiento (pulg.)	Agua en L./m <sup>3</sup> , para TMN agregados y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	---

### Paso 4: Contenido de aire

Se selecciona el contenido de aire según la Tabla 31.

Tabla 31: Contenido de aire en el concreto según TMN. (ACI-211, 2002)

TMN (Pulg.)	Aire atrapado (%)
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

### Paso 5: Definición del $f'c$ y $f'cr$

La investigación se diseña para un concreto convencional de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . Se calcula el  $f'cr$  (Esfuerzo a la compresión corregido o promedio) según la Tabla 32.

Tabla 32: Esfuerzo a la compresión corregida o promedio según  $f'c$ . (ACI-211)

$f'c$	$f'cr$
< 210	$f'c + 70$
210 a 350	<b><math>f'c + 84</math></b>
> 350	$f'c + 98$

$$f'cr = 210 + 84 = 294 \text{ Kg/cm}^2.$$

### Paso 6: Cálculo de la relación agua/cemento y material cementante

Para el siguiente cálculo se debe interpolar los valores que nos muestra la Tabla 33.

Tabla 33: Relación agua/cemento según  $f'c$ . (ACI-211,2002)

$f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
210	0,68	0,59
250	0,62	0,53
280	0,57	0,58
300	0,55	0,46
350	0,48	0,4
400	0,43	-----
450	0,38	-----

Si:

$$280 \text{ ----- } 0.57$$

$$294 \text{ ----- } r \text{ a/c}$$

$$300 \text{ ----- } 0.55$$

$$r \frac{a}{c} = 0.556 \Rightarrow c = \frac{216}{0.556}$$

$$\text{Cemento} = 388.49 \text{ kg/m}^3$$

### Paso 7: Cálculo del contenido de Agregado Grueso

Se basa en el volumen unitario del concreto, expresado por la relación de  $b/b_0$  en donde  $b$  es el volumen de las partículas de agregado grueso por metro cúbico de concreto y  $b_0$  es el volumen de las partículas del agregado grueso por metro cúbico de agregado grueso.

Donde  $b_0$  es:

$$b_0 = \frac{MUC}{dg} = \frac{1610}{2620} = 0.615$$

La Tabla 34 muestra los valores de  $b/b_0$ , en función del TMN del agregado grueso y del módulo de finura del agregado fino.

Tabla 34: Peso volumétrico del agregado grueso según el M.F y TMN ( $b/b_0$ ). (ACI-211,2002)

TMN	Volumen del agregado grueso seco y compactado; por unidad de volumen del concreto para diferentes M. F			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	<b>0.57</b>	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

$$V.A.G = \frac{b}{b_0} \times b_0 = 0.57 \times 0.615 = 0.3506 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 2.62 \times 0.3506 \times 1000 = 918.57 \text{ kg/m}^3$$

### Paso 8: Volúmenes de los componentes del concreto

Se calcula los volúmenes de los demás componentes del concreto para obtener la cantidad de ocupan en 1 m<sup>3</sup> de la mezcla. Este cálculo se realiza de la siguiente manera.

$$V. \text{ Agua} = \frac{216}{1 \times 1000} = 0.2160 \text{ m}^3$$

$$V. \text{ Cemento} = \frac{388.49}{3 \times 1000} = 0.1295 \text{ m}^3$$

$$V. \text{ Aire} = \frac{2.5}{100} = 0.0250 \text{ m}^3$$

### Paso 9: Cálculo del contenido del agregado fino

$$V_{AF} = 1 - (0.025 + 0.216 + 0.1295 + 0.3506) = 0.2789 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 2.61 \times 0.2789 \times 1000 = 727.93 \text{ kg/m}^3$$

### Paso 10: Corrección por humedad

Se realiza una corrección por el contenido de Humedad que tienen los Agregados en su estado natural.

$$AG. \text{ fino corregido} = 727.93 \times (100 + 1)\% = 735.21 \text{ Kg/m}^3$$

$$AG. \text{ grueso corregido} = 918.57 \times (100 + 0.8)\% = 925.92 \text{ Kg/m}^3$$

### Paso 11: Corrección por absorción

Se realiza una corrección el grado de absorción que tienen los Agregados en su estado natural.

$$\text{Agua corregida} = 216 + 727.93 \times (2.51 - 1)\% + 918.57 \times (1.67 - 0.8)\% = 234.98 \text{ Kg/m}^3$$

### Paso 12: Diseño de mezcla final

Para el cálculo del diseño de mezcla en base a porcentajes y volumen se utilizó las siguientes fórmulas:

*Ecuación 17: Porcentaje de diseño de mezcla*

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Peso por m}^3}{\text{Peso total por m}^3} \times 100$$

*Ecuación 18: Volumen de diseño de mezcla*

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso por m}^3}{\text{Peso específico}}$$

Con los resultados anteriores se obtiene el diseño de mezcla final en porcentajes para un mejor manejo de los datos, como se puede apreciar en la Tabla 35.

*Tabla 35: Diseño de mezcla final.*

Material	Peso por m <sup>3</sup> (Kg)	Porcentaje (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Agregado grueso	925.92	40.53	0.3534
Agregado fino	735.21	32.18	0.2817
Cemento	388.49	17.00	0.1295
Agua	234.98	10.29	0.2350

### Paso 13: Diseño de mezcla con aditivo para conformar probetas

Para la elaboración se utiliza una mezcla de 14 Kg, con la cual se elabora 3 probetas por mezcla. Los pesos según la adición del Aditivo acelerante se muestran en la Tabla 36.

*Tabla 36: Diseño de mezcla con adición de aditivo Tipo C.*

Material	Peso por 14 Kg. de mezcla						
	0%	1%	2%	3%	4%	5%	6%
Ag. grueso (Kg)	5.673	5.674	5.674	5.674	5.674	5.674	5.674
Ag. fino (Kg)	4.505	4.505	4.505	4.505	4.505	4.505	4.505
Cemento lco (Kg)	2.380	2.380	2.380	2.380	2.380	2.380	2.380
Agua (Kg)	1.441	1.441	1.441	1.441	1.441	1.441	1.441
Aditivo (gr)	0.00	23.80	47.60	71.40	95.20	119.00	142.80

## D. Ensayos del concreto en estado fresco

### D.1. Consistencia (NTP 339.035/ASTM C143)

El ensayo de consistencia se realiza a través del Cono de Abrams con el cual vamos a medir el asentamiento del concreto.

Las herramientas necesarias para llevar a cabo este ensayo son:

- Cono de Abrams, comúnmente de material metálico y de dimensiones:  $\varnothing$  inferior 200 mm,  $\varnothing$  superior 100 mm, Altura 300 mm y Espesor mínimo 1.5 mm. Ver Figura N°17.
- Regla de metal rígido (Wincha) con longitud  $\geq 12''$ .
- Barra compactadora de acero liso con punta semiesférica de  $\varnothing 5/8''$  (16 mm) x 24'' (600 mm).

El procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente:

- El Cono se coloca sobre una superficie plana, con la abertura más pequeña de un diámetro de 100 mm, hacia arriba.
- El recipiente se llena de concreto en tres capas, compactando cada una con 25 golpes con una varilla lisa de acero estándar de 16 mm de diámetro, redondeada en sus extremos.
- Luego en la superficie superior se elimina el material que sobra haciendo rodar la varilla por encima.
- Inmediatamente después del llenado se levanta el cono con suavidad y el concreto se desploma.
- Finalmente se mide el asentamiento del concreto desde la parte superior del molde hasta el centro de la muestra en (cm) o (pulg.). Ver Figura 6.

Asimismo, el rango de aceptación según la ASTM C143 para 3 resultados obtenidos por el mismo operador es de 28 mm o 1.1 pulg.

Además, este ensayo se realiza para concretos plásticos con agregados hasta 37,5 mm de tamaño. Si el agregado es mayor, el método es aplicable cuando el ensayo se realiza con la porción de concreto que pasa el tamiz 37,5 mm, retirando los agregados mayores, conforme se describe en la NTP 339.036.

Cabe mencionar que este ensayo no es aplicable para los concretos que tienen asentamientos menores a 15 mm (no plásticos) y los concretos que tienen asentamientos mayores a 230 mm (no cohesivos).

Tabla 37: Esquema del ensayo de consistencia.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg.)	Asentamiento promedio (cm)	Asentamiento promedio (pulg.)
	0%					
	1%					
	2%					
	3%					
	4%					
	5%					
	6%					

## D.2. Ensayo de tiempo de fraguado (NTP 339.082/ASTM C403)

El ensayo de Tiempo de fraguado en el concreto se realiza a través del Penetrómetro con el cual vamos a medir el tiempo de fraguado inicial y final.

Las herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo este ensayo según la NTP 339.082 y ASTM C403 son:

- Contenedores rígidos, herméticos, no absorbentes y libres de grasa, pueden ser cilíndricos o rectangulares. Su dimensión mínima es de 6" de diámetro y 6" de altura.
- Agujas de penetración con las siguientes áreas de contacto: 645, 323, 161, 65, 32 y 16mm<sup>2</sup> (1, ½, ¼, 1/10, 1/20 y 1/40 pulg<sup>2</sup>).

- Penetrómetro: Este dispositivo debe ser capaz de medir la fuerza de penetración con una exactitud de  $\pm 10\text{N}$  ( $\pm 2\text{lb}$ ) y debe tener una capacidad de por lo menos 600N (130 lb).
- Varilla Apisonadora: La varilla apisonadora es una varilla de acero redonda y recta de 16mm ( $\frac{5}{8}$  pulg.) de diámetro y de aproximadamente 600 mm (24 pulg) de longitud.
- Pipeta y termómetro.

El procedimiento para realizar el ensayo es el siguiente:

- Se realiza la mezcla del concreto, consecutivamente se tamiza la muestra a través de la malla N°4 y se coloca la muestra tamizada en contenedores.
- Se toma la temperatura con la que se realizara el ensayo
- Inmediatamente antes de realizar el ensayo, se retira el agua de exudación de la superficie de la muestra con la pipeta.
- Se inserta en el aparato de resistencia a la penetración una aguja de penetración de tamaño apropiado dependiendo del grado de endurecimiento (fraguado) del mortero, y se lleva la superficie de apoyo de la aguja en contacto con la superficie del mortero tamizado.
- Luego se aplica una fuerza vertical de arriba hacia abajo con el aparato, gradual y uniformemente, hasta que la aguja penetre  $25\text{mm} \pm 2\text{mm}$  ( $1 \pm 1/16$  pulg), en la superficie de la muestra.
- Después se registra la fuerza requerida para producir la penetración de 25mm (1 pulg), y el tiempo de la aplicación, medido como el tiempo transcurrido después del contacto inicial del cemento con el agua.
- Para obtener los datos de fraguado inicial y final se utilizan las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 19: Ecuación logarítmica para tiempo de fraguado*

$$\log(RP) = \log A + B \times \log(t)$$

*Ecuación 20: Ecuación potencial para tiempo de fraguado*

$$RP = A \times t^B$$

Donde:

RP: Resistencia a la penetración

t: Tiempo

A y B: Constantes de regresión



Tabla 39: Esquema de ensayo de tiempo de fraguado.

Marca de acelerante	% de Adición	Testigo	Tiempo de Fraguado (min)			
			Inicial	Final	Inicial promedio	Final promedio
	0%					
	1%					
	2%					
	3%					
	4%					
	5%					
	6%					

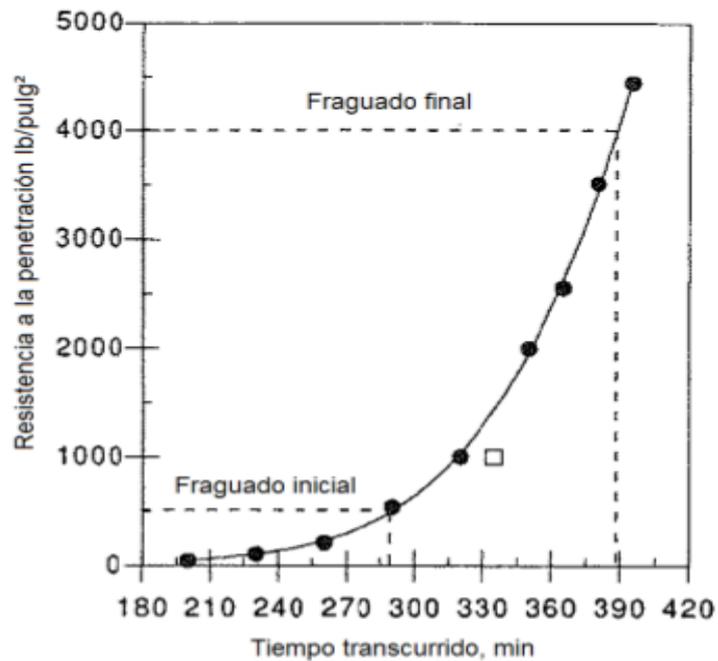


Figura 13: Curva logarítmica de resistencia a la penetración. (ASTM C403, 2013)

## E. Ensayos del concreto en estado endurecido

### E.1. Conformación y curado de probetas de concreto (NTP 339.183/ASTM C31)

Aquí se detalla el procedimiento, materiales y equipos para la correcta conformación y curado de los testigos de concreto.

Las principales herramientas utilizadas son:

- Moldes cilíndricos de 100 x 200 mm (4x8 pulg.)
- Mazo de goma de Peso 600 gr.  $\pm$  200 gr.
- Taras para muestreo de aditivos y recipientes para muestreo y remezclado
- Regla para enrasar.
- Varilla metálica de  $\varnothing$  16 mm (5/8"), Long 500 mm  $\pm$  100 mm, punta semiesférica.
- 

El procedimiento que se sigue para la conformación de probetas es el siguiente:

- Se pesa los materiales a utilizar en el concreto y después se procede a mezclar los materiales manualmente en un recipiente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m<sup>3</sup>.
- El mezclado del concreto se realizó de la siguiente manera: El agregado grueso se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el cemento, y por último se agregó agua con aditivo, si fuera el caso. El aditivo se pesa en una balanza en gramos.
- Después se realizó el asentamiento descrito en el siguiente Ítem.
- Consecutivamente se conformaron 252 probetas de 100 x 200 mm (4x8 pulg.), en dos capas varilladas con 25 golpes y 12 golpes exteriormente con el mazo de hule. La varilla utilizada fue de 3/8" tal y como se describe en la Norma ASTM C192.
- Se cubrieron las superficies de las probetas con bolsas para impedir la pérdida de humedad.
- Se retiró los moldes a las 24 horas después de moldeados o antes si se usa acelerantes.
- Finalmente, se introdujeron en la poza de curado por 3, 7, 14 y 28 días para luego ser ensayadas a compresión. La poza contiene agua potable suficiente para sumergir las probetas en su totalidad y cuenta con una temperatura de 23<sup>o</sup> C+2 °C incorporada con cal.

## **E.2. Refrentado de testigos cilíndricos de concreto (NTP 339.037/ASTM C617)**

Los testigos se refrendan de una capa de azufre para conseguir una distribución uniforme de la carga aplicada en las probetas de concreto. Los materiales y equipos necesarios son los siguientes:

- Azufre.
- Aceite
- Cucharón metálico.
- Molde de Refrentado.
- Nivel manual.
- Olla con control automático de temperatura para mantener el azufre en 130° C.

Para refrendar los testigos de concreto se sigue el siguiente procedimiento:

- El azufre en polvo o reciclado se calentó a una temperatura de 130 °C.
- Se adiciona una capa delgada de aceite sobre el molde, con la finalidad de retirar fácilmente la probeta del molde. La cantidad de aceite no debe ser exagerada.
- Se agrega el azufre derretido en el molde e inmediatamente se coloca la probeta encima.
- Luego de unos segundos se retira la probeta del molde verificando que el refrendado este nivelado. Este procedimiento se realiza para las dos caras de la probeta.
- Se verificó que las probetas estén niveladas y de no estarlo se retira el azufre y se realiza el mismo procedimiento.
- Luego se deja endurecer por 2 horas como se describe en la NTP 339.037 y ASTM C617.
- Finalmente, se realiza el ensayo de resistencia a compresión.

## **E.3. Ensayo de resistencia a compresión (NTP 339.034/ASTM C39)**

Este ensayo se realiza para ver una de las principales propiedades del concreto en estado endurecido.

El equipo necesario para este ensayo es:

- Prensa hidráulica operada manualmente y graduada a una velocidad de  $2.40 \pm 0,05$  KN/seg., según NTP 339.034 y ASTM C39.

El procedimiento para realizar el ensayo a compresión es el siguiente:

- Se retira las probetas de concreto de la poza de curado conforme a su tiempo de curado 3, 7, 14 y 28 días respectivamente.
  - Luego se deja calentar el azufre hasta obtener una pasta.
  - Después se procede a aplicar el Refrentado con azufre. Luego se mide el diámetro de la probeta con un micrómetro o vernier con aproximación de 0,1mm.
  - Asimismo, se mide la altura de cada probeta para cada lado con una regla metálica.
  - Después se limpia cualquier impureza de la superficie plana superior e inferior de las probetas y lo mismo se verifica con la prensa mecánica.
  - Luego se coloca la probeta de manera centrada en la prensa mecánica.
  - Finalmente se aplica la carga en forma continua a una velocidad de  $2.40 \pm 0,05$  KN/seg.
  - La carga se aplica de manera contante y continua hasta que se produzca la rotura de la probeta
- La resistencia a compresión se calcula a través de la siguiente fórmula:

*Ecuación 23: Esfuerzo a compresión*

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

$\sigma_c$  = Esfuerzo a la Compresión

$F$  = Fuerza (KN)

$A$  = Área(mm<sup>2</sup>)

*Ecuación 24: Área*

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$d$  = diámetro(mm)

Tabla 40: Esquema de ensayo de resistencia a la compresión.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
	0%								
	1%								
	2%								
	3%								
	4%								
	5%								
6%									

## F. Análisis de resultados

En el análisis de todos los resultados obtenidos, se incluye métodos estadísticos los cuales nos corroboran que nuestros resultados sean correctos.

### F.1. Media aritmética o promedio

Se suman los datos de cada ensayo por dosificación, marca de acelerante y días de curado según la siguiente formula:

*Ecuación 25: Media aritmética o promedio*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde:

$\bar{X}$  = Media Aritmética.

$\Sigma$  = Sumatoria

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra. Es el número de términos en el conjunto

## F.2. Varianza

Para poder determinar la varianza de nuestros todos nuestros ensayos, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación, marca de aditivo y edad de curado en la siguiente fórmula:

*Ecuación 26: Varianza*

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

$\sigma^2$  = Varianza

$\Sigma$  = Sumatoria.

$\bar{x}$  = Media Aritmética.

$x_i$  = Observación de la muestra. Representa cada dato en el conjunto.

$n$  = Tamaño de la muestra. Es el número de términos en el conjunto.

## F.3. Desviación estándar

Para hallar la desviación estándar de los ensayos realizados se utiliza los resultados de la varianza en la siguiente fórmula:

*Ecuación 27: Desviación estándar*

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Donde:

DS = Desviación estándar

$\sigma^2$  = Varianza

## F.4. Coeficiente de variación

Para poder hallar el coeficiente de variación se utiliza la desviación estándar de cada ensayo realizado en la siguiente fórmula:

*Ecuación 28: Coeficiente de variación*

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

CV= Coeficiente de Variación

DS = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media Aritmética

## F.5. Contrastación de Hipótesis

Los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado fresco y endurecido se analizarán para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza y prueba de F de Fisher.

### a) Datos previos

#### a.1) Grados de Libertad:

- Grados de libertad de la variable %de adición de los aditivos Tipo C (A)

$$G.L. = a - 1$$

- Grados de libertad de la variable tiempo de curado (B):

$$G.L. = b - 1$$

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$$

- Grados de libertad del error.

$$G.L. = (a \times b) \times (r - 1)$$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas.

#### a.2) Nivel de significancia o confiabilidad:

La significancia se trabaja con un valor de 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ), debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales, y es un compromiso entre formular premisas con la probabilidad de acertar.

Además, el error ( $\alpha$ ) es la probabilidad de rechazar incorrectamente una hipótesis cuando es verdadera, por ello se utilizó un error muy bajo, para que los datos obtenidos tengan un alto nivel de confiabilidad.

#### a.3) Criterio de rechazo:

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F_0 > F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$

- $F_0$  se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha,(n-1),(nx(r-1))}$  se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

## b) Análisis de Varianza y F de Fischer

### b.1) Suma de cuadrados:

- Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

**b.2) Media de cuadrados:**

- Media de cuadrados para el factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

- Media de cuadrados para el factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

- Media de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)x(b - 1)}$$

- Media de cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)x(r - 1)}$$

**b.3) F<sub>0</sub> experimental:**

- F<sub>0</sub> (A).

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (B).

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

- F<sub>0</sub> (A x B)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Caracterización de materia prima

##### 4.1.1. Ensayo de agregados

##### 4.1.1.1. Agregado fino:

Tabla 41: Características del agregado fino.

Ensayo	Norma	Resultado	Rango Recomendable
<b>Análisis granulométrico</b>	NTP 400.012 / ASTM C136		Ver Tabla 17
<b>Módulo de Finura</b>	NTP 400.037 / ASTM C33	2.6	2.3 - 3.1
<b>Material más fino que pasa tamiz N°200:(%)</b>	NTP 400.018 / ASTM C117 NTP 400.037 / ASTM C33	1	Máximo 3% para concretos sujetos a abrasión y 5% para otros concretos.
<b>Contenido de humedad</b>	NTP 339.185/ ASTM C566	1	-
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	NTP 400.017 / ASTM C29	1640	1300– 1800
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)</b>	NTP 400.017 / ASTM C29	1810	1600 – 1900
<b>Peso específico aparente (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	NTP 400.022 / ASTM C128	2610	2500 – 2900
<b>Absorción (%)</b>	NTP 400.022 / ASTM C128	2.5	0.2 – 5.0
Requisitos Químicos			
<b>Cloruros en suspensión (p.p.m.)</b>	NTP 400.042	53	< 600
<b>Sales solubles totales (p.p.m.)</b>	NTP 400.042	105	< 1300

Tabla 42: Composición del agregado fino.

Composición de la muestra	
% de Grava (de 3" a 3/8"):	0
% de Grano grueso (N°4 a N°8):	15
% de Grano medio (N°16 a N°30):	30
% de Grano fino (N°50 a N°200):	54
% Limo-arcilloso (< N°200)	1

#### 4.1.1.2. Agregado grueso:

Tabla 43: Características del agregado grueso.

Ensayo	Norma	Resultado	Rango Recomendable
Análisis granulométrico	NTP 400.012 / ASTM C136	TM 19.05 mm (3/4")	-
	NTP 400.037 / ASTM C33	TMN 12.70 mm (1/2")	Ver Tabla 19
Material más fino que pasa tamiz N°200: (%)	NTP 400.018 / ASTM C117 NTP 400.037 / ASTM C33	0	Máximo 1
Contenido de humedad (%)	NTP 339.185/ ASTM C566	0.8	-
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017 / ASTM C29	1490	1400 – 1600
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.017 / ASTM C29	1610	1500 – 1700
Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )	NTP 400.021 / ASTM C127	2620	2300 – 2800
Absorción (%)	NTP 400.021 / ASTM C127	1.7	0.2 - 3.0
<b>Requisitos Químicos</b>			
Cloruros en suspensión (p.p.m.)	NTP 400.042	60	< 600
Sales solubles totales (p.p.m.)	NTP 400.042	108	< 1300

Tabla 44: Composición del agregado grueso.

Composición de la muestra	
% de Grava (de 2" a 3/4"):	0
% de Grava de 1/2"	9
% de Grava de 3/8"	43
% de Grano grueso (N°4 a N°8):	48
% Limo-arcilloso (< N°200)	0
<b>Total</b>	<b>100</b>

Tabla 45: Características de los agregados para el diseño de mezcla.

Propiedades físicas de los agregados		
Caracterización	Agregado fino	Agregado grueso
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1640	1490
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1810	1610
Densidad específica aparente (Kg /m <sup>3</sup> )	2610	2620
Tamaño máximo	--	N° 3/4"
Tamaño máximo nominal	--	N° 1/2"
Módulo de finura	2.6	--
Contenido de humedad (%)	1.0	0.8
Absorción (%)	2.5	1.7

#### 4.1.2. Agua

Tabla 46: Requisitos químicos del agua.

Requisitos químicos			
Ensayo	Norma	Resultado	Rango
Cloruros (p.p.m.)	NTP 339.088	230	< 1000
Sólidos totales o en suspensión (p.p.m.)	NTP 339.088	895	< 5000

## 4.2. Diseño de mezcla

Tabla 47: Diseño de mezcla general.

Material	Peso por m <sup>3</sup> (Kg)	Porcentaje (%)	Volumen (m <sup>3</sup> )
Ag. grueso	925.92	40.53	0.35
Ag. fino	735.21	32.18	0.28
Cemento Ico	388.49	17.00	0.13
Agua	234.98	10.29	0.24
Total	2284.60	100.00	1.00

## 4.3. Propiedades del concreto

Tabla 48: Resumen de los parámetros ensayados al concreto

Ensayo	Norma	Resultados				Requisitos mínimos de ASTM C494-17
		Patrón (0%)	Chema 3 (3%)	Sika Rapid-1 (1%)	MasterSet AC534 (3%)	
Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	NTP 339.034/ASTM C39					
3 días		147	171	172	184	≥ 183
7 días		184	202	204	215	≥ 184
14 días		224	237	240	246	≥ 224
28 días		268	273	277	281	≥ 268
Tiempo de Fraguado (min)	NTP 339.082/ASMT C403					
Tiempo Inicial		362	332	340	278	≤ 302
Tiempo Final		514	464	469	394	≤ 454
Asentamiento o Slump (pulg.)	NTP 339.035/ASMT C143	4 1/2	6 1/4	4 3/4	6	-----
Incremento de Temperatura en 6 horas (°C)	NTP 339.184/ASMT C1064	1.8	3.3	3.1	5.4	-----

### 4.3.1. Propiedades del concreto en estado fresco:

#### 4.3.1.1. Asentamiento (NTP 339.035/ASTM C143):

Tabla 49: Asentamiento promedio y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Asentamiento promedio		Varianza	Desviación estándar (in)	Desviación estándar (in) ASTM C143	Rango Aceptable para tres resultados (in) ASTM C143
		cm	in				
CHEMA 3	0%	11.3	4 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10
	1%	12.5	5	0.06	0.25	0.39	1.10
	2%	13.8	5 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10
	3%	15.7	6 1/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	4%	17.7	7	0.02	0.14	0.39	1.10
	5%	20.2	8	0.06	0.25	0.39	1.10
	6%	21.8	8 3/4	0.02	0.14	0.39	1.10
SIKA RAPID-1	0%	11.3	4 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10
	1%	12.2	4 3/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	2%	13.7	5 1/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	3%	15.3	6	0.06	0.25	0.39	1.10
	4%	17.2	6 3/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	5%	19.3	7 3/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	6%	21.3	8 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10
MASTERSET AC 534	0%	11.3	4 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10
	1%	11.8	4 3/4	0.02	0.14	0.39	1.10
	2%	13.5	5 1/4	0.06	0.25	0.39	1.10
	3%	15.0	6	0.06	0.25	0.39	1.10
	4%	17.0	6 3/4	0.06	0.25	0.39	1.10
	5%	19.5	7 3/4	0.06	0.25	0.39	1.10
	6%	21.3	8 1/2	0.02	0.14	0.39	1.10

#### 4.3.1.2. Tiempo de fraguado (NTP 339.082/ASTM C403):

Tabla 50: Tiempo de fraguado inicial promedio y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Tiempo promedio de fraguado inicial (min)	Varianza	Desviación estándar (min) ASTM C403	Rango aceptable de tres resultados (min) ASTM C403
CHEMA 3	0%	362	4	2.0	11.40
	1%	358	2.34	1.53	
	2%	350	2.34	1.53	
	3%	332	2.34	1.53	
	4%	346	1	1	
	5%	350	2.34	1.53	
	6%	358	2.34	1.53	
SIKA RAPID-1	0%	362	4	2	
	1%	340	2.34	1.53	
	2%	344	2.34	1.53	
	3%	346	2.34	1.53	
	4%	350	1	1	
	5%	351	2.34	1.53	
	6%	362	8.35	2.89	
MASTERSET AC 534	0%	362	4	2	
	1%	327	2.34	1.53	
	2%	300	6.35	2.52	
	3%	278	2.34	1.53	
	4%	286.0	2.34	1.53	
	5%	288	2.34	1.53	
	6%	296	4	2	

Tabla 51: Tiempo de fraguado final promedio y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Tiempo de fraguado final (min)	Varianza	Desviación estándar (min) ASTM C403	Rango aceptable de tres resultados (min) ASTM C403
CHEMA 3	0%	514	2.34	1.53	14.60
	1%	496	2.34	1.53	
	2%	488	1.32	1.15	
	3%	464	4	2	
	4%	474	2.34	1.53	
	5%	479	1	1	
	6%	494	1.32	1.15	
SIKA RAPID-1	0%	514	2.34	1.53	
	1%	469	0.34	0.58	
	2%	472	1	1	
	3%	473	2.34	1.53	
	4%	487	2.99	1.73	
	5%	490	6.35	2.52	
	6%	497	2.34	1.53	
MASTERSET AC 534	0%	514	2.34	1.53	
	1%	446	6.35	2.52	
	2%	419	1	1	
	3%	394	2.34	1.53	
	4%	409	2.34	1.53	
	5%	413	4.33	2.08	
	6%	420	0.34	0.58	

#### 4.3.1.3. Temperatura del concreto (NTP 339.184/ASTM C1064)

Tabla 52: Temperatura del concreto promedio.

Marca de acelerante	% de Adición	Temperatura (°C)																	
		0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min	240 min	270 min	300 min	330 min	360 min	390 min	420 min	450 min	480 min	510 min
CHEMA 3	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
	1%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24	24.2	24.4
	2%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.8	22.2	22.5	22.8	23.0	23.2	23.5	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6
	3%	20.9	21.0	21.3	21.5	21.7	22.0	22.4	22.7	23.0	23.4	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	24.9	24.9	--
	4%	20.9	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.2	24.4	24.6	--
	5%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22	22.3	22.4	22.7	23.1	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	--
	6%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.1	24.2
SIKA RAPID-1	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
	1%	20.9	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	23.1	23.4	23.7	24.0	24.3	24.5	24.7	24.8	--
	2%	20.9	21.1	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.2	24.4	24.6	--
	3%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.9	22.2	22.5	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.1	24.3	24.6	24.8
	4%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22.0	22.3	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	24.4
	5%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.0	24.1	24.3
	6%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.9	23.1	23.3	23.6	23.8	24.0	24.2
MASTERSET AC 534	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
	1%	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0	22.3	22.7	23.1	23.6	24.1	24.4	24.7	24.8	25.0	25.1	--	--
	2%	21.0	21.3	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.3	23.7	24.2	24.7	25.1	25.4	25.6	--	--	--
	3%	21.2	21.5	21.9	22.4	22.9	23.3	23.6	23.9	24.4	25.1	25.6	26.1	26.6	26.9	--	--	--	--
	4%	21.2	21.5	21.8	22.3	22.6	23.0	23.4	23.6	24.0	24.6	25.1	25.5	25.9	26.1	26.3	--	--	--
	5%	21.2	21.4	21.7	22.1	22.4	22.6	22.8	23.1	23.4	23.7	24.1	24.7	25.0	25.3	25.5	--	--	--
	6%	21.2	21.4	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.5	24.9	25.2	25.3	--	--	--

#### 4.3.2. Propiedades del concreto en estado endurecido:

##### 4.3.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034/ASTM C39):

Tabla 53: Resistencia promedio a los 3 días y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Varianza	Desviación estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	Coefficiente de variación (%) ASTM C39	Rango Aceptable para tres resultados (%) ASTM C39
CHEMA 3	0%	147	0.33	0.58	0.39	3.20	10.60
	1%	153	0.33	0.58	0.38		
	2%	163	3	1.73	1.06		
	3%	171	2.33	1.53	0.89		
	4%	167	1.33	1.15	0.69		
	5%	164	1	1	0.61		
	6%	158	1.33	1.15	0.73		
SIKA RAPID-1	0%	147	0.33	0.58	0.39		
	1%	172	2.33	1.53	0.89		
	2%	171	4.33	2.08	1.22		
	3%	167	1.33	1.15	0.69		
	4%	164	1.33	1.15	0.7		
	5%	160	0.33	0.58	0.36		
	6%	156	3	1.73	1.11		
MASTERSET AC 534	0%	147	0.33	0.58	0.39		
	1%	160	2.33	1.53	0.96		
	2%	171	2.33	1.53	0.89		
	3%	184	1.33	1.15	0.63		
	4%	183	1	1	0.55		
	5%	176	1.33	1.15	0.65		
	6%	164	4.33	2.08	1.27		

Tabla 54: Resistencia promedio a los 7 días y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Varianza	Desviación estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	Coefficiente de variación (%) ASTM C39	Rango Aceptable para tres resultados (%) ASTM C39
CHEMA 3	0%	184	3	1.73	0.94	3.20	10.60
	1%	188	2.33	1.53	0.81		
	2%	196	2.33	1.53	0.78		
	3%	202	1.33	1.15	0.57		
	4%	195	2.33	1.53	0.78		
	5%	189	3	1.73	0.92		
	6%	186	4.33	2.08	1.12		
SIKA RAPID-1	0%	184	3	1.73	0.94		
	1%	204	0.33	0.58	0.28		
	2%	202	1	1	0.5		
	3%	199	2.33	1.53	0.77		
	4%	195	1.33	1.15	0.59		
	5%	190	2.33	1.53	0.81		
	6%	187	2.33	1.53	0.82		
MASTERSET AC 534	0%	184	3	1.73	0.94		
	1%	198	4.33	2.08	1.05		
	2%	202	1.33	1.15	0.57		
	3%	215	4.33	2.08	0.97		
	4%	213	0.33	0.58	0.27		
	5%	205	6.33	2.52	1.23		
	6%	199	2.33	1.53	0.77		

Tabla 55: Resistencia promedio a los 14 días y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Varianza	Desviación estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	Coefficiente de variación (%) ASTM C39	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C39
CHEMA 3	0%	224	0.33	0.58	0.26	3.20	10.60
	1%	229	2.33	1.53	0.67		
	2%	233	0.33	0.58	0.25		
	3%	237	4	2	0.84		
	4%	235	0.33	0.58	0.25		
	5%	231	1.33	1.15	0.5		
	6%	227	0.33	0.58	0.26		
SIKA RAPID-1	0%	224	0.33	0.58	0.26		
	1%	240	1.33	1.15	0.48		
	2%	237	1.33	1.15	0.49		
	3%	235	2.33	1.53	0.65		
	4%	232	0.33	0.58	0.25		
	5%	229	2.33	1.53	0.67		
	6%	227	0.33	0.58	0.26		
MASTERSET AC 534	0%	224	0.33	0.58	0.26		
	1%	230	0.33	0.58	0.25		
	2%	236	2.33	1.53	0.65		
	3%	246	1.33	1.15	0.47		
	4%	244	2.33	1.53	0.63		
	5%	237	2.33	1.53	0.65		
	6%	231	0.33	0.58	0.25		

Tabla 56: Resistencia promedio a los 28 días y sus medidas estadísticas.

Marca de acelerante	% de Adición	Resistencia promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Varianza	Desviación estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	Coefficiente de variación (%) ASTM C39	Rango Aceptable para tres resultados (%) ASTM C39
CHEMA 3	0%	268	1.33	1.15	0.43	3.20	10.60
	1%	269	3	1.73	0.64		
	2%	272	2.33	1.53	0.56		
	3%	273	0.33	0.58	0.21		
	4%	272	1.33	1.15	0.42		
	5%	269	0.33	0.58	0.22		
	6%	266	2.33	1.53	0.58		
SIKA RAPID-1	0%	268	1.33	1.15	0.43		
	1%	277	0.33	0.58	0.21		
	2%	275	4.33	2.08	0.76		
	3%	274	1	1	0.36		
	4%	272	0.33	0.58	0.21		
	5%	269	2.33	1.53	0.57		
	6%	268	1.33	1.15	0.43		
MASTERSET AC 534	0%	268	1.33	1.15	0.43		
	1%	273	0.33	0.58	0.21		
	2%	278	1.33	1.15	0.41		
	3%	281	1.33	1.15	0.41		
	4%	280	5.33	2.31	0.83		
	5%	278	2.33	1.53	0.55		
	6%	271	0.33	0.58	0.21		

#### 4.4. Costos de elaboración del concreto por m<sup>3</sup>:

Para realizar el análisis de costos de materiales se utilizará las cantidades de diseño de mezclas de la presente investigación. Para ello se comparará el costo de producir un m<sup>3</sup> de concreto convencional y un m<sup>3</sup> con adiciones de aditivos tipo C de las empresas CHEMA, SIKA y BASF, como se observa en la Tabla 57.

Tabla 57: Costo por m<sup>3</sup> del concreto convencional y con adiciones de aditivos Tipo C.

Materiales	Peso por m <sup>3</sup> (Kg)	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Concreto convencional	Concreto con aditivo CHEMA 3	Concreto con aditivo SIKA RAPID-1	Concreto con aditivo MASTERSET AC 534
					Costo por m <sup>3</sup> (S/.)	Costo por m <sup>3</sup> (S/.)	Costo por m <sup>3</sup> (S/.)	Costo por m <sup>3</sup> (S/.)
Cemento Tipo Ico	388.49	bls.	9.14	22.60	206.56	206.56	206.56	206.56
Agua	234.98	m <sup>3</sup>	0.23	5.00	1.15	1.15	1.15	1.15
Arena Gruesa	735.21	m <sup>3</sup>	0.41	46.90	19.23	19.23	19.23	19.23
Piedra de 1/2"	925.92	m <sup>3</sup>	0.58	53.90	31.26	31.26	31.26	31.26
Acelerante CHEMA 3	11.6046	gln.	2.63	20.11	---	52.89	---	---
Acelerante SIKA RAPID-1	3.8682	gln.	0.81	34.05	---	---	27.58	---
Acelerante MASTERSET AC 534	11.6046	gln.	2.20	38.15	---	---	---	83.89
<b>TOTAL</b>					<b>S/. 258.21</b>	<b>S/. 311.09</b>	<b>S/. 285.79</b>	<b>S/. 342.10</b>

#### 4.5. Evaluación económica de las alternativas:

Según CAPECO para el desencofrado de losas aligeradas se requiere de 2 peones + 1 oficial con un rendimiento diario de 36 m<sup>2</sup> / día.

Para obtener de la cantidad de concreto por m<sup>2</sup> de losa aligerada, se realizará un metrado o se utilizará la siguiente fórmula:

*Ecuación 29: Volumen de concreto por m<sup>2</sup> de losa aligerada*

$$\text{Volumen} = 0.05 + 0.25x(e - 0.05)$$

Donde:

e= espesor de la losa aligerada

Este cálculo se aplicará para una losa aligerada de e= 0.2 metros. Por lo que para 1m<sup>2</sup> de losa se requiere 0.0875 m<sup>3</sup> de concreto.

$$1\text{m}^2 \text{ ----- } 0.0875 \text{ m}^3$$

$$36\text{m}^2 \text{ ----- } x \text{ m}^3$$

$$x = 3.15 \text{ m}^3$$

Aplicando regla de tres simple se concluye que para realizar 36 m<sup>2</sup> de losa aligerada de 0.20 m. de espesor se requiere 3.15 m<sup>3</sup> de concreto.

Asimismo, se calcula el costo por aditivo para 3.15 m<sup>3</sup>:

$$\text{Chema 3: } S/. 52.89 /\text{m}^3 \times 3.15 \text{ m}^3 = S/. 166.6$$

$$\text{Sika Rapid-1: } S/. 27.58 /\text{m}^3 \times 3.15 \text{ m}^3 = S/. 86.9$$

$$\text{MasterSet AC534: } S/. 83.89 /\text{m}^3 \times 3.15 \text{ m}^3 = S/. 264.3$$

Además, el peón tiene un costo día hombre (DH) de S/. 122.25 y el oficial de S/. 135.81 (Ver Anexo 11):

$$\text{Costo por día} = 2 \text{ peón} + 1 \text{ oficial} = 122.2 \times 2 + 135.81 = 380.31$$

Con lo cual se obtiene un costo por día para 2 peones y un oficial de S/. 380.31

Por otro lado, en la Tabla 58 nos muestra los siguientes valores para desencofrados.

Tabla 58: Tiempo de desencofrado según la temperatura. (Díaz Lozano, 2008)

Temperatura superficial del hormigón °C	≥16 °C	8 °C	2 °C
Losas Fondos de encofrado Puntales	4 días 10 días	6 días 15 días	10 días 25 días
Vigas Fondos de encofrado Puntales	10 días 14 días	15 días 21 días	25 días 36 días

Distintos autores proponen diferentes tiempos de desencofrado para la losa aligerada entre 10 a 14 días. Sin embargo, en obra se utiliza un tiempo promedio de 14 días.

Por ello para obtener una resistencia de aproximadamente 224 Kg/cm<sup>2</sup>, la cual se logró en 14 días con un concreto convencional, se utiliza un sistema de interpolación, con lo cual se afirma que al utilizar aditivos se requieren tiempos de:

**MasterSet AC534**

7 días ----- 215 Kg/cm<sup>2</sup>  
x días ----- 224 Kg/cm<sup>2</sup>  
14 días ----- 246 Kg/cm<sup>2</sup>

**x= 9 días**

**SikaRapid-1**

7 días ----- 204 Kg/cm<sup>2</sup>  
x días ----- 224 Kg/cm<sup>2</sup>  
14 días ----- 240 Kg/cm<sup>2</sup>

**x= 11 días**

**Chema 3**

7 días ----- 202 Kg/cm<sup>2</sup>  
x días ----- 224 Kg/cm<sup>2</sup>  
14 días ----- 237 Kg/cm<sup>2</sup>

**x= 11.5 días**

Con lo cual los aditivos MasterSet AC534, Sika Rapid-1 y Chema 3 obtienen una reducción del tiempo en 5, 3 y 2.5 días respectivamente para un desencofrado de losas aligeradas.

En la Tabla 59 se muestra el ahorro que se produce al utilizar los aditivos Tipo C en el concreto.

Tabla 59: Ahorro de los aditivos Tipo C en la construcción.

Aditivos Tipo C	Costo de Mano de Obra por día (S/.)	Reducción de tiempo (días)	Ahorro por Mano de Obra (S/.) "A"	Costo del aditivo (S/.) "B"	Ahorro Total (S/.) "C=A-B"
Chema 3	380.31	2.5	950.8	166.0	<b>784.2</b>
Sika Rapid-1	380.31	3	1140.9	86.9	<b>1054.0</b>
MasterSet AC534	380.31	5	1901.6	263.2	<b>1637.3</b>

## CAPITULO V

### 5. DISCUSIÓN

Con el propósito de evaluar los resultados obtenidos anteriormente para determinar las principales propiedades en estado fresco-endurecido del concreto, tanto para la mezcla convencional como adicionada con aditivos Tipo C, se realiza un análisis que determine las mejoras de las mezclas con aditivos. Asimismo, se observa la influencia de los aditivos según la prueba F de Fisher considerando un nivel de confiabilidad del 95%.

Para el efecto del análisis, fue necesario realizar ensayos físicos, mecánicos y químicos de la materia prima (arena gruesa y grava de 1/2") y agua, asimismo seleccionar los aditivos Tipo C a utilizar. Después se procedió a la elaboración de un concreto convencional de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo con el método de ACI-211, y se realizaron mezclas para ser evaluadas en estado fresco (Asentamiento, Tiempo de Fraguado y Temperatura), y testigos cilíndricos de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, para evaluarlos en estado endurecido (Resistencia a la Compresión), para edades de 3, 7, 14 y 28 días, adicionando los aditivos CHEMA 3, SIKA RAPID-1 y MASTERSET AC 534 en todas las mezclas elaboradas.

Además, cada ensayo realizado, fue efectuado y evaluado según lo que establecen las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y las Normas de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales (ASTM).

#### 5.1. Caracterización de la materia prima:

##### 5.1.1. Agregado fino:

En la tabla 60 se puede observar las principales propiedades físicas del agregado fino, las cuales son de gran importancia para una correcta elaboración del diseño de mezcla. Los datos obtenidos fueron comparados con los requisitos mínimos y máximos que indican las Normas Técnicas Peruanas (NTP), para así verificar si cumplen con la calidad requerida para ser considerados como agregado en la mezcla.

*Tabla 60: Características del agregado fino.*

Caracterización	Agregado fino
Peso unitario suelto ( $\text{Kg/m}^3$ )	1640
Peso unitario compactado ( $\text{Kg/m}^3$ )	1810
Densidad específica seca ( $\text{Kg/m}^3$ )	2450
Densidad específica S.S.S ( $\text{Kg/m}^3$ )	2520
Densidad aparente ( $\text{Kg/m}^3$ )	2610
Módulo de finura	2.6
Contenido de humedad (%)	1.0
Absorción (%)	2.5

El análisis granulométrico es una de las propiedades más importantes en los agregados, porque nos permite observar la graduación y los diferentes tamaños de las partículas que presenta la muestra, si todas las partículas presentan un mismo tamaño no se tendría un adecuado acomodo entre granos, produciendo grandes cantidades de vacíos, lo cual afecta sus propiedades en estado fresco y endurecido.

Por estas razones es necesario que los agregados a utilizar cumplan con las especificaciones indicadas por la norma, para así obtener una buena distribución de tamaños, no generando exudación y segregación en la mezcla, las cuales afectarán a la resistencia, trabajabilidad y tiempo de fraguado.

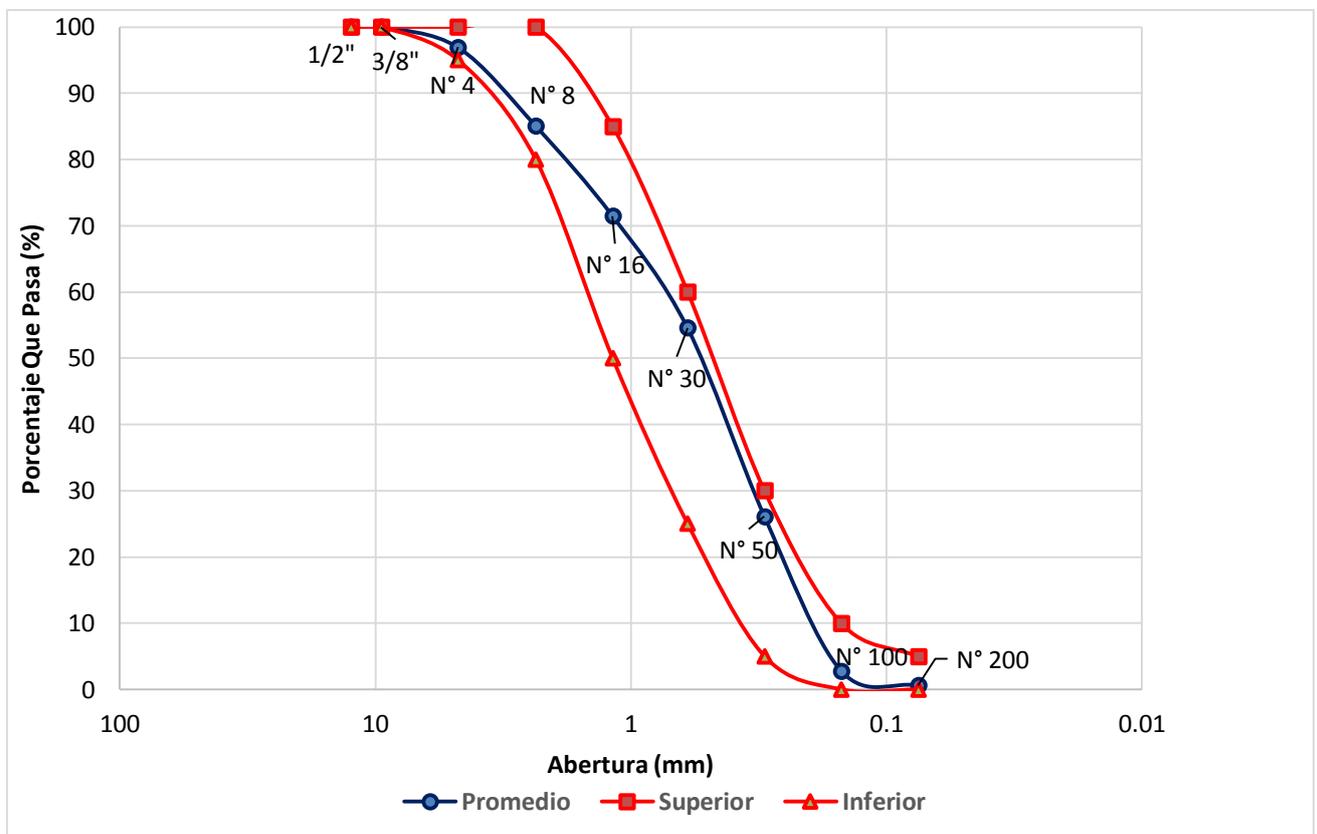


Figura 14: Curva granulométrica del agregado fino

La curva granulométrica del agregado fino (arena gruesa) que se muestra en la Figura 14, nos muestra una buena graduación de las partículas, presenta fracciones de todos los tamaños de granos, las cuales cumplen con las condiciones para ser usada en la mezcla de un concreto convencional, porque se encuentra dentro de los límites del rango del porcentaje que pasa según la NTP 400.037 y ASTM C33. Cabe mencionar que se permitirá el uso de agregados finos que no cumplan con las especificaciones señaladas siempre y cuando existan

estudios que aseguren que el material producirá concreto de la resistencia requerida tal y como se menciona en la NTP 400.037.

El módulo de finura es un valor el cual representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra, mientras menor sea el valor más fino es el agregado. Cabe mencionar que un módulo de finura muy pequeño genera partículas más pequeñas, que a su vez están tienen mayor superficie específica, por lo que mientras menor es el módulo de finura se requiere mayor cantidad de agua en la mezcla. El módulo de finura obtenido es de 2.6, el cual se encuentra dentro del rango entre 2.3- 3.1 según especifica la norma NTP 400.037 y ASTM C33, además según la clasificación de arenas es una arena gruesa con un módulo de finura entre 2.5 – 3.5. Con lo mencionado anteriormente se deduce que el agregado fino (arena gruesa) al tener un módulo de finura promedio de 2.6 es apto para usarse en un concreto convencional.

Los agregados contienen partículas las cuales son muy finas como los limos y arcillas, estas afectan la adherencia entre el grano y la pasta de cemento, por lo que puede perjudicar a la resistencia, la trabajabilidad y el fraguado. Nuestro agregado fino tiene un contenido del 1% que pasa la malla 200, cumpliendo con la norma NTP 400.037, la cual indica un contenido máximo del 3% que pase la malla 200 (menor a 75  $\mu\text{m}$ ). Por esta razón el agregado fino es adecuado para la mezcla de concreto.

El contenido de humedad nos muestra como el contacto del agregado con el medio ambiente proporciona un grado de humedad, la cual influye en la relación agua/cemento de la mezcla. El contenido de humedad obtenido es del 1%, lo que significa que el agregado aporta una cantidad baja a la mezcla. La norma NTP 339.185/ASTM C566 no establece un límite para el contenido de humedad en los agregados, sin embargo, es ideal que estos valores deben sean menores a los de la absorción.

La absorción es la propiedad de los áridos que tiene mayor influencia en la mezcla de concreto. En la tabla 60 se observa una absorción del agregado fino de 2.5% el cual cumple con lo que recomienda Polanco Rodriguez (2012), la cual señala que la absorción de los agregados debe estar entre el rango de 0.2% y 5%, por lo tanto, el agregado fino muestra un valor confiable. La absorción es mayor que el contenido de humedad, por ello se afirma que el cálculo es correcto.

Con estos valores se determinó el contenido exacto de agua en la mezcla para obtener un asentamiento adecuado del concreto.

El peso unitario suelto y compactado también conocidos como masa unitaria nos permite tener una idea de su influencia, ya sea el primero en el manejo del material y el segundo en el acomodo dentro de una mezcla de concreto. El peso unitario suelto y compactado del agregado fino es de 1640 Kg/m<sup>3</sup> y 1810 Kg/m<sup>3</sup> consecutivamente, los cuales se encuentran en los rangos que recomienda Polanco Rodríguez (2012) de 1300-1800 kg/m<sup>3</sup> y 1600-1900 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Asimismo, Fernanda Carrasco (2013) divide en tres rangos el peso unitario; mayor a 2000 kg/m<sup>3</sup> pesados, 1000 – 2000 kg/m<sup>3</sup> normales, por último, menor a 1000 kg/m<sup>3</sup> livianos. Por lo tanto, podemos decir que se encuentra en el rango de los normales, esto significa que el agregado se acomoda de manera adecuada dentro del molde sin dejar muchos vacíos de aire, debido a una buena distribución de sus partículas repercutiendo directamente en una mejora de la resistencia del concreto.

El peso específico o gravedad específica es la propiedad la cual nos indica la calidad del agregado, mientras mayor es el peso específico se obtendrá un material con mejor comportamiento. El peso específico del agregado fino fue de 2.61 gr/cm<sup>3</sup> o 2610 Kg/m<sup>3</sup>, dicho valor se encuentra en el rango que recomienda Toledo (2013) de 2.5 – 2.9 g/cm<sup>3</sup>. Además, Rivera L. (2013) divide en tres rangos el peso específico, ligero menor a 2.5 gr/cm<sup>3</sup>, normales de 2.5 – 2.75 g/cm<sup>3</sup> y pesados mayor a 2.75 g/cm<sup>3</sup>, con lo cual nuestro agregado es una arena gruesa normal, la cual es óptima para la elaboración de un concreto convencional.

Existen sustancias que pueden tener un impacto negativo en el concreto, las cuales se encuentran en el agua y agregados. Por esta razón es necesario un análisis químico de los agregados para determinar la cantidad de impurezas que presentan, ya que a mayores cantidades pueden interferir en el proceso de hidratación del cemento.

Para la evaluación química del agregado fino se consideró como base las propiedades del agua, se obtuvieron valores de 53 p.p.m. para los cloruros, y 105 p.p.m. en sales solubles totales. Sin embargo, la NTP 400.042 indica los límites máximos permisibles para los agregados empleados en la elaboración del concreto, cuyos valores deben ser menores a 600 p.p.m. para cloruros, y 1300 p.p.m. en sales solubles totales, con lo que el agregado fino (arena gruesa) cumple satisfactoriamente.

Por estos motivos a través de la evaluación química se muestra que el agregado fino es apto para utilizarse, obteniendo una buena durabilidad y así evitando problemas de fisuración, agrietamiento, expansión y eflorescencia, al no contener sustancias que perjudiquen la mezcla de concreto.

### 5.1.2. Agregado grueso:

En la tabla 61 se aprecia las principales propiedades físicas del agregado grueso, las cuales son fundamentales para una correcta elaboración del diseño de mezcla. Los datos que obtenidos se compararon con los requisitos mínimos y máximos que indican las Normas Técnicas Peruanas (NTP), con la finalidad de verificar si cumplen con la calidad requerida para ser considerados como agregado en la mezcla de concreto.

*Tabla 61: Características del agregado grueso.*

Caracterización	Agregado grueso
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1485
Peso unitario compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	1610
Densidad específica seca (Kg/m <sup>3</sup> )	2510
Densidad específica S.S.S (Kg/m <sup>3</sup> )	2550
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2620
Tamaño máximo	Nº 3/4"
Tamaño máximo nominal	Nº 1/2"
Contenido de humedad (%)	0.8
Absorción (%)	1.7

Conforme a la curva granulométrica del agregado grueso, tiene una correcta distribución de sus partículas como se muestra en la Figura 15, además se aprecia que la curva obtenida se encuentra dentro del huso 7 estipulado por la NTP 400.037, la cual establece los requerimientos mínimos para agregados gruesos de 1/2" ; cabe mencionar que si se diera el caso en el que no se cumplen los requerimientos del huso granulométrico se tendría que mezclar con otro material para alcanzar una perfecta distribución, u en otro caso se permitirá el uso de agregados gruesos que no cumplan con las especificaciones señaladas siempre y cuando existan estudios que aseguren que el material producirá concreto de la

resistencia requerida tal y como se menciona en la NTP 400.037. Asimismo, la NTP 400.037 establece los siguientes requerimientos: el porcentaje que pasa la malla 3/4" debe ser el 100%, la malla 1/2" entre 90 – 100%, la malla 3/8" entre 40 – 70%, la malla N°4 entre 0 – 15% y la malla N°8 entre 0 – 5%.

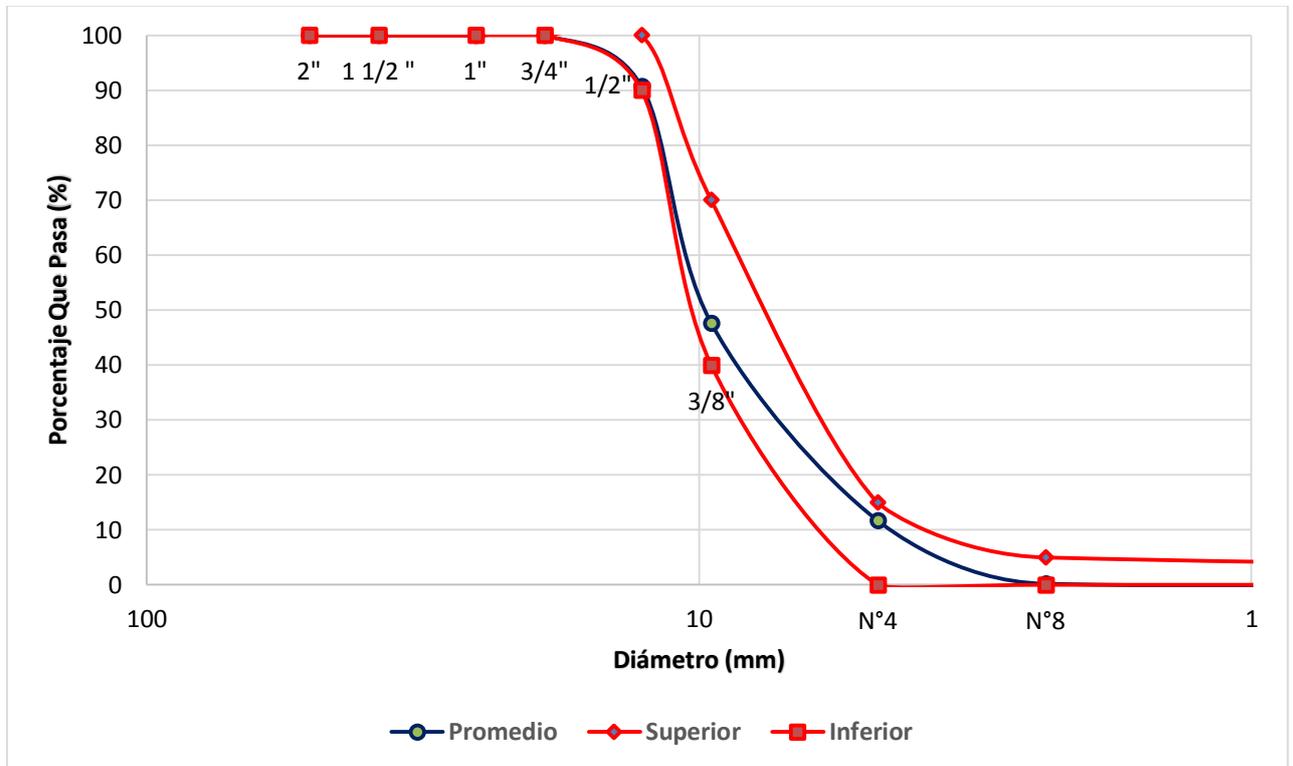


Figura 15: Curva granulométrica del agregado grueso

El tamaño y la textura tienen una gran importancia en la mezcla de concreto, a menor tamaño del agregado sus partículas se acomodan mejor, disminuyendo los vacíos y a la vez la porosidad, provocando un aumento de la resistencia a la compresión. Es por ello que se usó un agregado de TMN de 1/2" y de TM de 3/4", obteniéndose mayores resistencias. Con respecto a la composición del agregado presenta un porcentaje retenido del 9% en la malla de 1/2", 43% en la malla de 3/8", 36% en la malla N°4 y 12% en la malla N°8.

El agregado grueso contiene un 0% de materiales finos que pasa la malla N°200 (menor a 75 µm), el cual cumple con el límite máximo según la NTP 400.037 que es del 1%.

El contenido de humedad y absorción del agregado grueso nos muestra la cantidad de agua retenida y a la vez la cantidad de vacíos que contiene en su estructura. Se obtuvo un contenido de humedad de 0.8% y una absorción del 1.7%, cumpliendo este último con lo que recomienda Polanco Rodríguez (2012),

la cual debe estar en el rango de 0.2%- 3.0%. Estos valores mencionados indican que es un agregado grueso relativamente seco con una baja cantidad de vacíos en su microestructura interna, lo que no permitirá una menor acumulación de agua, donde su absorción no es muy elevada.

Para el caso del peso específico se obtuvo un resultado de 2.62 gr/cm<sup>3</sup>, el cual cumple con lo que recomienda Humaní Mena (2016) de 2.30 – 2.80 g/cm<sup>3</sup>, el cual es el peso específico aproximado de la roca madre. Rivera L. (2013) clasifica a un agregado de peso normal con peso específico entre 2.5-2.75 gr/cm<sup>3</sup>, con lo cual el agregado grueso se encuentra dentro de este rango. Con ello se demuestra que el agregado es adecuado para una mezcla de concreto convencional, teniendo un peso específico regular, por lo tanto, alcanzará resistencias muy favorables.

El peso unitario suelto del agregado grueso es de 1485 Kg/m<sup>3</sup> y su peso unitario compactado es de 1610 Kg/m<sup>3</sup>, dichos valores se encuentran en el rango que recomienda para el agregado grueso Fernanda Carrasco (2013), los cuales son de 1400-1600 Kg/m<sup>3</sup> y 1500-1700 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Con estos valores se deduce que el agregado grueso al ser utilizado en la mezcla tendrá un buen acomodo entre sus partículas influenciando positivamente en su resistencia.

La evaluación química del agregado grueso se realizó en base a las propiedades del agua potable, con lo cual se obtuvo valores de 108 p.p.m. para sales solubles totales, y 60 p.p.m. para cloruros. Según la NTP 400.042 los límites máximos permisibles para los agregados empleados en la elaboración del concreto deben ser menor a 600 p.p.m para cloruros y 1300 p.p.m. en sales solubles totales. Finalmente se demuestra a través de la evaluación química que el agregado grueso es apto para utilizarse, obteniendo una buena durabilidad y así evitando problemas de fisuración, agrietamiento, expansión y eflorescencia, al no contener sustancias que perjudiquen la mezcla de concreto.

### 5.1.3. Cemento:

El cemento Ico, es un cemento de uso general fabricado por la empresa Cementos Pacasmayo, el cual es recomendado para vigas, columnas, losas, cimentaciones y obras que no se encuentre en lugares salitrosos. Este cemento contiene adiciones para mejorar sus propiedades. En la Tabla 62 se presenta las principales propiedades físicas del cemento tipo Ico.

Tabla 62: *Propiedades físicas del cemento Ico. (Cementos Pacasmayo, 2017)*

Propiedades Físicas	Und.	CPSSA	Requisitos NTP 334.090
Contenido de Aire	%	6	Máximo 12
Superficie específica	cm <sup>2</sup> /g.	5020	No específica
Retenido en malla 325		3.2	No específica
Densidad	gr/cm <sup>3</sup>	3.00	No específica
Resistencia a compresión	Kg/cm <sup>2</sup>		
3 días		245	Mínimo 133
7 días		288	Mínimo 204
28 días		330	Mínimo 255
Tiempo de fraguado vicat	min		
Fraguado inicial		111	Mínimo 45
Fraguado final		260	Máximo 420

Como se aprecia en la Tabla 62 el cemento Tipo Ico tiene una superficie específica elevada comparada con el cemento Tipo I, lo cual genera que el cemento Ico tenga una mayor área superficial y a la vez se produzca una rápida hidratación, por tanto, se tendrá como resultado una mayor resistencia a temprana edad. Este cemento contiene hasta un 30% de adiciones entre materiales calizos o inertes, aportando una mayor durabilidad, mejor manejabilidad y un moderado calor de hidratación.

Conforme a la resistencia es mayor a lo establecido por la NTP 339.090, presentando mayores resistencias iniciales y moderadas resistencias finales. En cuanto a su composición alcanza buenas resistencias iniciales por la adición de materiales calizos, sin embargo, contiene menos cantidad de Clinker, es decir presenta un contenido un poco menor de C<sub>3</sub>S y C<sub>3</sub>A comparado con el cemento Tipo I.

Como se mencionó anteriormente este cemento se eligió porque es recomendable para elementos estructurales, ya que la presente investigación se enfoca en el uso de losas, columnas y vigas obteniendo una mayor durabilidad en las estructuras. Además, la investigación pretende analizar el efecto de los aditivos Tipo C, con lo cual se requiere un cemento de uso general.

#### 5.1.4. Aditivos Tipo C (ASTM C494):

Uno de los principales problemas actualmente son los retrasos de obra. Es por ello que se requieren desencofrados rápidos, para así poder evitar atrasos en la ruta crítica, la mayoría de las construcciones dependen del avance constructivo de los elementos estructurales. Por estas razones se utiliza los aditivos Tipo C. Para el diseño del concreto convencional se propone una resistencia de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, se obtiene una relación agua/cemento de 0.6 aproximadamente, proporcionando una mezcla trabajable, por tanto, se empleó aditivos Tipo C y se evitó emplear un reductor de agua-acelerante como el Tipo E.

La norma ASTM C494 clasifica a los aditivos Tipo C como acelerantes de fragua y/o endurecimiento, por ello es que en la presente tesis se ve la influencia de los aditivos acelerantes de fragua y endurecimiento de las empresas CHEMA, BASF y SIKA, para así tener un conocimiento más amplio de la clasificación, su dosificación, efecto, composición química y mejoras en la mezcla de concreto.

El empleo de los aditivos se realiza en un concreto convencional proyectado para cumplir una función estructural como son las losas, vigas y columnas, es por ello que solo se emplea aditivos acelerantes sin cloruros en su composición química, sabiendo que los acelerantes a base de cloruros son los más eficaces, sin embargo, el cloruro es un compuesto químico que provoca la corrosión del acero, dañando severamente a las estructuras de concreto armado y afectando directamente en su durabilidad.

Los aditivos acelerantes tienen una función en la cual actúan como un catalizador en la hidratación del cemento, sin embargo, al utilizarse aditivos sin cloruros los cuales en su mayoría están compuestos por nitratos, nitritos, hidróxidos, silicatos, etc., reaccionan principalmente con el Aluminato Tricálcico (C<sub>3</sub>A), obteniendo beneficios en una hidratación más rápida y disminuyendo el tiempo de fraguado. A su vez tienen una reacción con el Silicato Tricálcico (C<sub>3</sub>S), sin embargo, no es tan notoria como cuando se utilizan cloruros.

Al ser aditivos que no contienen cloruros su manera de actuar es incrementando la concentración de calcio y sobre el decrecimiento de la concentración de sulfato. Para así obtener mayores resistencias iniciales y menores tiempos de fraguado. El aditivo Sika Rapid-1 es un aditivo acelerador de endurecimiento, distribuido por la empresa SIKA, el cual tiene como función el aumento de las resistencias con y

sin cambio en el tiempo de fraguado. En la tabla 63 se presenta algunas características del aditivo Sika Rapid-1, teniendo en cuenta el porcentaje óptimo del Sika Rapid-1 es del 1% respecto al peso del cemento, valor que coincide con la investigación de Torres T. (2013), obteniendo un resultado de 7.9 cm<sup>3</sup> por Kilogramo de cemento, valor que se encuentra dentro del rango que recomienda la empresa SIKA en su ficha técnica (Ver anexo 8).

*Tabla 63: Características del aditivo Sika Rapid-1.*

Condiciones de almacenamiento	Al menos 1 año en sus envases originales bien cerrados y no deteriorados, al resguardo del sol y las heladas
Densidad	1.27 ± 0.01 Kg/L
Dosis	SikaRapid-1 se utilizado en un rango 3.9 cm <sup>3</sup> a 23.6 cm <sup>3</sup> por kilogramos de cemento. Para cementos con adiciones se deberá hacer pruebas

Conforme al aditivo Chema 3, el cual es fabricado por la empresa CHEMA, es un aditivo acelerante de fragua el cual tiene como principal función acelerar la fragua, además, no contiene cloruros y funciona como un inhibidor de corrosión. Es recomendable aplicarlo en cementos tipo I y tipo V. En la tabla 64 se presenta algunas características del aditivo Chema 3, sabiendo que su porcentaje óptimo es del 3% respecto al peso del cemento, obteniendo un resultado de una dosis superior, además que este valor se encuentra en el rango que recomienda la empresa CHEMA en su ficha técnica (Ver anexo 7).

*Tabla 64: Características del aditivo Chema 3.*

Condiciones de almacenamiento	De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de 2 años.
Densidad	1.17 ± 0.01 gr/ml
Dosis	Reducida: 500 ml (1/2 Litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado). Normal: 750 ml (3/4 Litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado). Superior: 1,000 ml (1 litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado). La dosis como porcentaje es del 1.2% al 4% respecto al peso del cemento

Asimismo, el aditivo MasterSet AC534, fabricado por la empresa BASF, es un acelerante de fragua, el cual acelera el tiempo de fragua y produce un alto aumento de resistencias en un amplio rango de temperaturas. Este aditivo tiene

más información para su aplicación, ya que se recomienda aplicarlo en un cemento de uso general, diseñado para un asentamiento de 3-4", a temperaturas ente 10-24 °C y sin aire incluido, por ello se deduce que se obtendrá mejores resultados. En la tabla 65 se presenta algunas características del aditivo MasterSet AC534, teniendo en cuenta que su porcentaje óptimo es del 3% respecto al peso del cemento, obteniendo un resultado de 2.14 litros por 100 Kilogramos de cemento, valor que se encuentra dentro del rango que recomienda la empresa BASF en su ficha técnica (Ver anexo 6).

*Tabla 65: Características del aditivo MasterSet AC534.*

Condiciones de almacenamiento	De almacenarse en un lugar fresco, ventilado. MasterSet AC 534 tiene una vida útil mínima de 18 meses.
Densidad	1.40 ± 0.01 gr/cm <sup>3</sup>
Dosis	Se recomienda un rango de dosificación para MasterSet AC 534 de 0.65 a 2.90 L/100 kg

Con esto se demuestra que las cantidades óptimas de los aditivos Tipo C mencionados anteriormente, son menores a las dosis máximas que recomiendan las empresas SIKA, CHEMA y BASF para cada aditivo, evitando un incremento del costo innecesario.

*Tabla 66: Cantidades de los aditivos Tipo C*

Aditivos Tipo C	Cantidades de los aditivos Tipo C (ml) para 1 kg de cemento					
	1%	2%	3%	4%	5%	6%
Chema 3	8.55	17.09	25.64	34.19	42.74	51.28
Sika Rapid-1	7.87	15.75	23.62	31.50	39.37	47.24
MasterSet AC534	7.14	14.29	21.43	28.57	35.71	42.86

En la Tabla 66 se muestra las cantidades de los aditivos Tipo C en dosis del 1% al 6% para 1 kg de cemento. Como se aprecia el aditivo Chema 3 es el que en todas las dosis tiene una mayor cantidad en mililitros, esto se debe a que tiene una densidad de 1.17 gr/cm<sup>3</sup> la cual es menor a la del Sika Rapid-1 de 1.27 gr/cm<sup>3</sup> y el MasterSet AC534 de 1.40 gr/cm<sup>3</sup>. Por estos motivos se demuestra que conforme la densidad del aditivo sea más baja se utilizará una mayor cantidad en mililitros para la mezcla.

### 5.1.5. Agua Potable:

El agua es un compuesto importante en la mezcla, ya que para ser apta para el amasado y curado debe estar libre de impurezas y sustancias dañinas, y así haya una correcta hidratación del cemento sin producir alteraciones en la mezcla de concreto, evitando retrasos en el fraguado, pérdidas de resistencia y efectos negativos en su durabilidad.

Para contrastar que el agua utilizada era adecuada para el diseño de mezcla, se realizó un análisis químico en el cual se obtuvo valores de 230 p.p.m para cloruros y 895 p.p.m en sólidos totales en suspensión, con lo cual cumplen con los requisitos mínimos que manda la NTP 339.088. Además, se obtuvo un valor de 1390 uS/cm para la conductividad el cual es menor a 1500 uS/cm y un Ph de 7 el cual está entre 5.5-8, tal como la indica la SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento) para cumplir los requisitos de una agua potable. Por lo que el agua utilizada no perjudicará a las propiedades evaluadas en la presente tesis.

### 5.2. Diseño de mezcla:

El concreto es un material compuesto por agregados, cemento, agua y si lo requiere aditivos. La mayor cantidad en volumen es ocupada por los agregados entre el 59% - 76%, además el cemento ocupa entre el 7% - 18% el cual varía dependiendo la resistencia requerida. Por lo que se realizó la caracterización de agregados para luego aplicar el método ACI-211, con el cual se busca alcanzar una resistencia requerida y la relación agua/cemento de la mezcla.

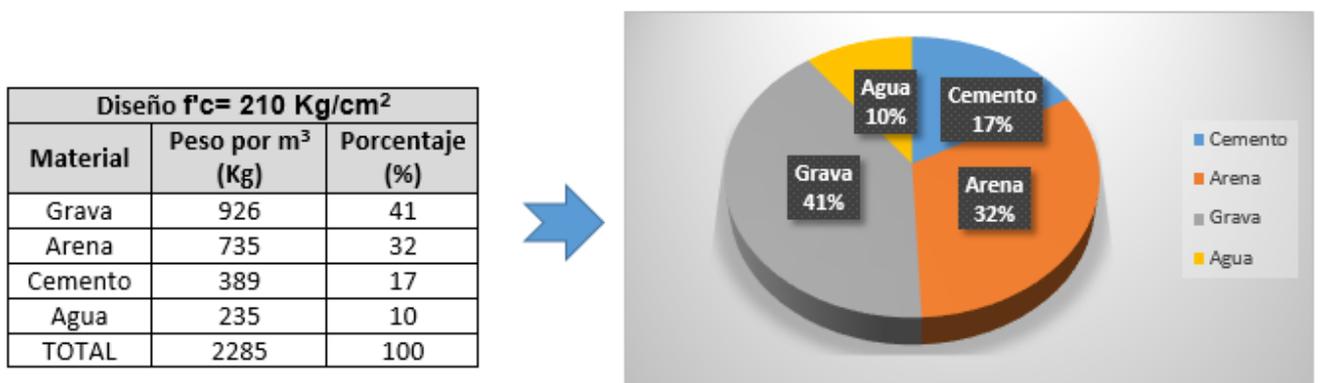
El diseño se realizó con el fin de ser aplicado en elementos estructurales, ya sea vigas, columnas y losas, con lo cual se propuso un asentamiento de 3-4", siendo lo mínimo en la aplicación de losas aligeradas. Asimismo, se obtuvo una relación agua/cemento inicial de 0.56, la cual fue modificada por las correcciones de absorción y humedad hasta obtener una relación agua/cemento final de 0.61.

El tamaño del agregado grueso es de ½", con lo cual se genera un mejor acomodo en el vaciado de las losas aligeradas, los áridos de mayores tamaños tienen menor superficie específica disminuyendo la adherencia con la pasta. Además, se adicionará aditivos Tipo C, es por ello que el cemento utilizado es el tipo Ico, de uso general, el cual ofrece una mayor durabilidad, siendo recomendable para elementos estructurales. De acuerdo a la elaboración del diseño de mezcla del concreto patrón el resultado en Kg para 1 m<sup>3</sup> es de 2285 Kg/m<sup>3</sup>, correspondiendo este valor a un concreto normal en

cuanto peso volumétrico, además se alcanzó una resistencia a los 28 días de 268 Kg/cm<sup>2</sup>.

Con respecto a la adición de aditivos Tipo C se utilizó tres aditivos fabricados por las empresas CHEMA, SIKA y BASF, los cuales presentan distintas propiedades físicas y químicas, es por ello que se evaluará estos aditivos a los porcentajes de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6%, para así tener un estudio más amplio de la influencia de los aditivos Tipo C y poder observar las mejoras en las propiedades del concreto conforme se aumenta la dosificación.

A continuación, se muestra las proporciones del diseño de mezcla para 1m<sup>3</sup> incluyendo las proporciones óptimas para cada aditivo acelerante. Asimismo, se presenta las dosificaciones en baldes para que sean utilizadas en la elaboración de la mezcla en una obra.



#### Dosificación en obra para una bolsa de cemento Ico



Figura 16: Proporciones del diseño de mezcla para 1 m<sup>3</sup>.

Cabe recalcar que la cantidad de cemento utilizada en el diseño de mezcla final es de 388.49 Kg/m<sup>3</sup>, la cual no fue modificada para así obtener una buena trabajabilidad, asegurando una mezcla de concreto con una excelente resistencia, además se pretende evaluar un concreto de uso específico el cual es un convencional (175 Kg/cm<sup>2</sup> – 350 Kg/cm<sup>2</sup>) con un diseño de mezcla inicial de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  según los parámetros

del ACI-211 y así poder ver la influencia de los aditivos Tipo C en un concreto convencional, sabiendo que dicho diseño depende del tipo de cemento, propiedades de los agregados y uso.

### 5.3. Propiedades en estado fresco:

#### 5.3.1. Consistencia:

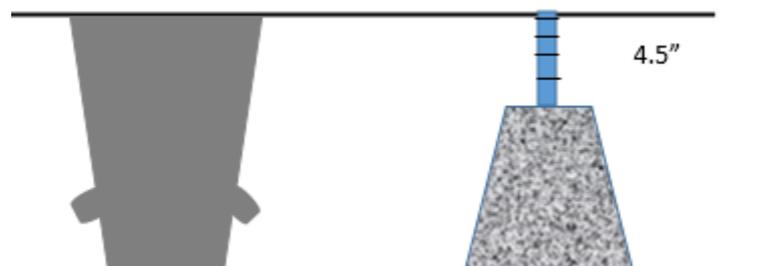
La mezcla de las partículas del cemento con el agua produce reacciones químicas exotérmicas en las cuales se libera calor. Esta reacción genera enlaces o estructuras cristalinas las cuales lo convierten en un material aglutinante.

El cemento está compuesto principalmente de Clinker, que a su vez tiene como componentes silicatos y aluminatos, los cuales al reaccionar con el agua ofrecen distintas propiedades a la mezcla.

La cantidad de agua a emplearse en la mezcla es muy importante ya que con ello se alcanzará una buena trabajabilidad, sin embargo, el exceso de agua ocasiona una mayor trabajabilidad, pero a la vez pérdidas de resistencia, es por ello que se debe emplear la cantidad correcta de agua según el diseño de mezcla para poder obtener buenos resultados en las propiedades mecánicas, sin alterar las propiedades en estado fresco.

El proceso de hidratación es un factor muy importante, ya que la relación agua-cemento influye directamente en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto. Esto quiere decir que si ocurre un exceso de agua en la mezcla provocará la aparición de huecos capilares reduciendo la resistencia, a su vez se crea un fenómeno llamado exudación en el cual se libera el agua debido a que los poros de la materia prima que conforman la mezcla están completamente saturados.

La relación agua-cemento influye directamente sobre la trabajabilidad del concreto, a mayor relación agua/cemento el asentamiento es mayor, debido a que las partículas se dispersan de una mejor manera.



*Figura 17: Asentamiento de la mezcla patrón.*

Como se observa en la Figura 17 el asentamiento de la mezcla patrón es de  $4\frac{1}{2}$  pulg. (11.3 cm), con lo cual nos encontramos con una mezcla entre plástica y muy plástica. El diseño de mezcla se realizó para 3" a 4" (7.5 a 10 cm)  $\pm 2$  con lo cual nos encontramos dentro del rango considerando un margen de error de 2 cm. Además, que la resistencia a los 28 días obtuvo resultados dentro del rango diseñado, por lo tanto, se consideró correcto el asentamiento obtenido.

Los aditivos Tipo C tienen como función el acelerar el tiempo de fraguado y aumentar las resistencias, sin embargo, al agregar dosis de estos aditivos se aumenta la trabajabilidad ligeramente, disminuyendo la permeabilidad al cerrar los conductos capilares que posee, al ser la mezcla más trabajable se genera un mejor acomodo de los agregados dentro del concreto disminuyendo los vacíos que se presentan en la mezcla.

Sin embargo, la dosis de aditivo debe ser controlada, al ser demasiada puede provocar problemas de segregación o exudación afectando severamente las propiedades del concreto. Además, el presente ensayo se realizó bajo la norma NTP 339.035/ASTM C143, manteniendo constante la relación agua cemento de la mezcla patrón.

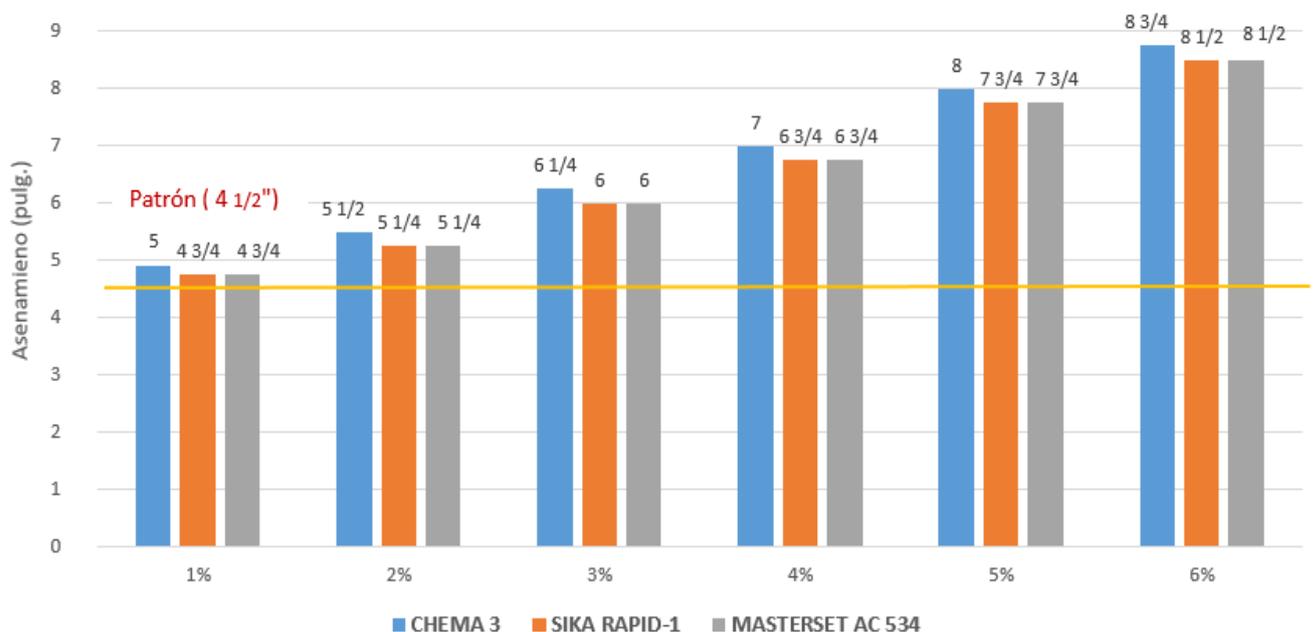


Figura 18: Asentamiento de las mezclas con aditivos acelerantes Tipo C.

En la Figura 18 se muestra como al aumentar la dosis de un aditivo Tipo C incrementa su asentamiento ligeramente, sin embargo, al adicionar porcentajes mayores al 4% en función al peso del cemento se obtienen mezclas fluidas lo cual

ya no es recomendable, produciéndose segregación en la mezcla. La segregación puede ser dinámica o estática, la primera ocasionando que los áridos no se distribuyan de manera uniforme, mientras que la estática provoca que el agua tienda a elevarse hacia la superficie del concreto como consecuencia de la incapacidad de los áridos de arrastrarla con ellos al irse compactando, este tipo de segregación es conocido también como exudación; en cualquiera de los casos estos dos fenómenos afectan notoriamente a las propiedades del concreto, por ello al obtener asentamientos mayores a 7" se genera fenómeno de exudación lo cual produce la liberación del fluido de la mezcla, ocasionando que el aditivo no trabaje al 100% y en vez de mejorar las propiedades genere una disminución progresiva.

Los aditivos Tipo C no tienen como función incrementar la trabajabilidad, sin embargo, de los resultados obtenidos se propone su uso hasta una dosis del 4%; por otro lado, se observa que el aditivo Chema 3 es el que genera un mayor asentamiento en todos sus porcentajes de adición, porque puede contener pequeñas cantidades de plastificantes en su composición química. Por estos motivos se debe tener en cuenta no utilizar dosis muy altas con este aditivo.

Además, teniendo en cuenta el nivel de confiabilidad del 95% y la validez de los ensayos realizados se propone utilizar los aditivos hasta un 4% en peso del cemento, ya que, mostro una mejora de las propiedades del concreto hasta esa dosificación.

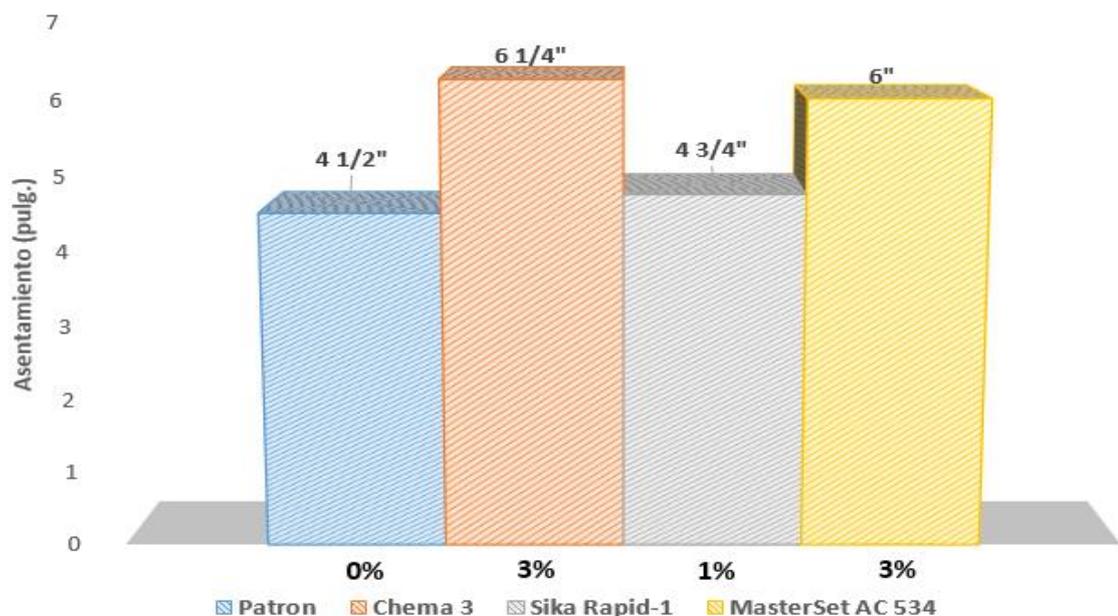


Figura 19: Asentamiento de las mezclas con aditivo en su porcentaje óptimo.

En la Figura 19 se aprecia los asentamientos promedio de cada acelerante Tipo C en su porcentaje óptimo. Se observa que el aditivo Sika Rapid-1 no tiene un gran incremento, ya que al ser un acelerante de resistencias tiene una mayor influencia en porcentajes de adición bajos, obteniendo un asentamiento final de  $4 \frac{3}{4}$  pulgadas (12.2 cm), el cual se encuentra entre una mezcla plástica y muy plástica, por lo que es un resultado muy aceptable para el vaciado de elementos estructurales. Con respecto al Aditivo MasterSet AC 534 obtuvo un asentamiento de 6 pulgadas (15 cm), el cual lo categoriza como una mezcla muy plástica, además es un asentamiento adecuado en cuanto al uso de losas aligeradas, por lo que no solo aportará mejores resistencias si no que a la vez brindará una mejor trabajabilidad sin presentar segregación o exudación. A la vez el aditivo Chema 3 presenta un asentamiento de  $6 \frac{1}{4}$  pulgadas (15.7cm) el cual entra en el rango como una mezcla fluida por lo que a pesar de generar una mayor trabajabilidad es necesario verificar que no se produzca exudación, ya que a pesar de ser el porcentaje óptimo puede que no tenga un rendimiento del 100%.

La NTP 339.035/ASTM C143 nos indica que el ensayo de asentamiento a través del cono de Abrams no es aplicable a concretos no plásticos y no cohesivos. Por ello es importante tener en cuenta los rangos en los que se puede aplicar este ensayo, sabiendo que a asentamientos menores a  $\frac{1}{2}$  pulgada (15 mm) el concreto no es plástico y los concretos que tienen asentamientos mayores a 9 pulgadas (230 mm) son concretos no cohesivos.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos para la muestra patrón y las mezclas adicionadas con aditivos Tipo C del 1% al 6%, se encuentran dentro del rango establecido por la NTP 339.035/ASTM C143, por tanto, se deduce que los datos obtenidos a través de este ensayo son correctos, siendo corroborados por el análisis F de Fisher.

### **5.3.2. Tiempo de fraguado:**

El endurecimiento y fraguado del concreto son productos de procesos químicos y físicos entre el cemento portland y el agua, el cual se denomina hidratación. La reacción de hidratación del cemento genera proceso exotérmico, el cual produce una liberación de calor.

En la Figura 20 se muestra la formación de los compuestos principales del concreto a partir de la conformación de la mezcla.

En los primeros minutos se produce una rápida disolución de sulfatos y aluminatos. Se hidrata el Silicato Tricálcico ( $C_3S$ ) y se forma la etringita. Es este proceso las temperaturas aumentan rápidamente y se produce un cambio en la composición de la fase líquida. Luego se da el periodo de inducción el cual se desenvuelve entre las primeras 4 horas del fraguado. En el disminuye la concentración de silicatos y se aumenta la de iones Ca hasta alcanzar un nivel de supersaturación. También se forman núcleos de CH y C-S-H, que pueden alterar el fraguado y la trabajabilidad. La tercera fase se da entre las 3 y 12 horas en la cual ocurre una rápida reacción química, de los silicatos de Ca para formar CH y C-S-H, por lo que disminuye la concentración de calcio. En esta etapa la mezcla pasa de un estado plástico a un estado rígido. En la última fase la subida de las temperaturas nuevamente se ralentiza, y, se genera un continuo aumento de la resistencia, y una disminución de poros, acompañado por la aparición de adherencia entre los agregados y la pasta.

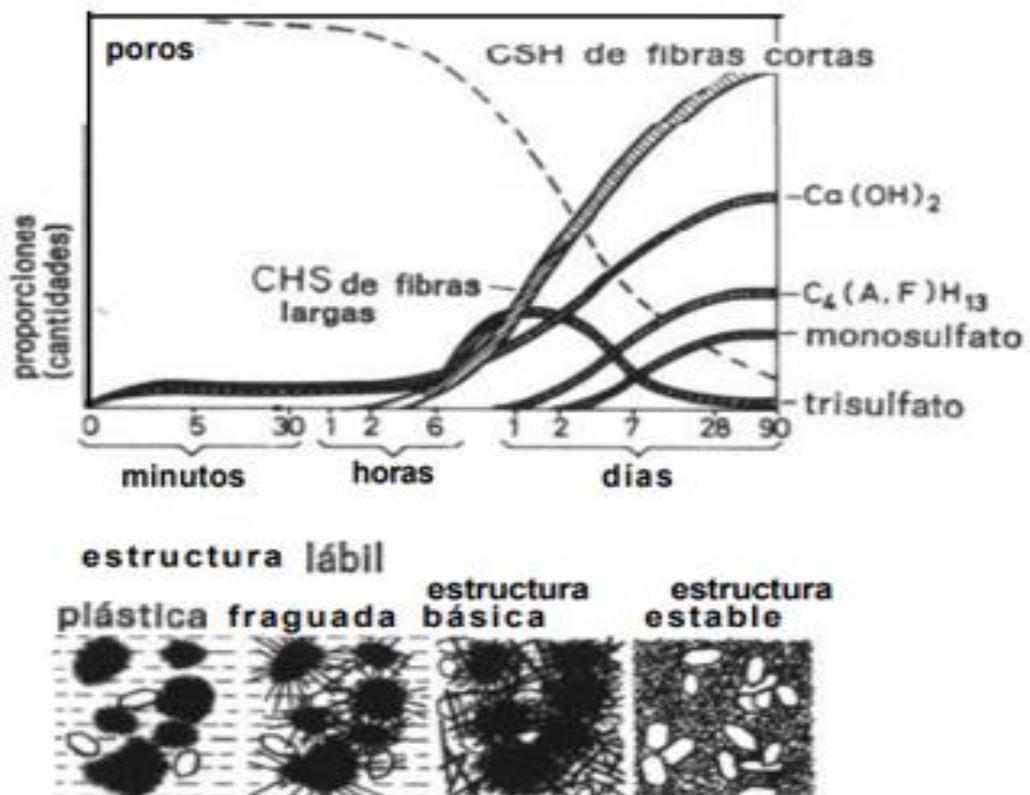


Figura 20: Formación de las fases hidratadas. (Locher/Richartz/Sprung, 2006)

Asimismo, en la Figura 21 se muestra las 3 etapas del fraguado, conforme al aumento de la resistencia a la penetración en el transcurrir del tiempo.

En la primera etapa denominado pre-fraguado la mezcla se comporta como un líquido viscoso plástico. En este momento se considera que las partículas sólidas están aisladas, presentando poros con una total continuidad. Sin embargo, conforme va teniendo lugar la hidratación, la fracción conectada aumenta gradualmente, hasta llegar a un grado de hidratación crítico. En la etapa del fraguado se dan dos puntos importantes el fraguado inicial y final. El fraguado inicial nos indica el momento en el que la mezcla ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna.

Por otro lado, el fraguado final está definido por el desarrollo de la resistencia a una gran velocidad y el tiempo límite del cambio a una pasta rígida.

En la etapa del post-fraguado, la evolución de las propiedades mecánicas de la mezcla está ligado con el desarrollo que presenta el cuerpo poroso de la pasta de cemento endurecida. Además, que en esta etapa se producen fenómenos como la retracción por secado, el cual depende de la misma estructura de la mezcla endurecida.

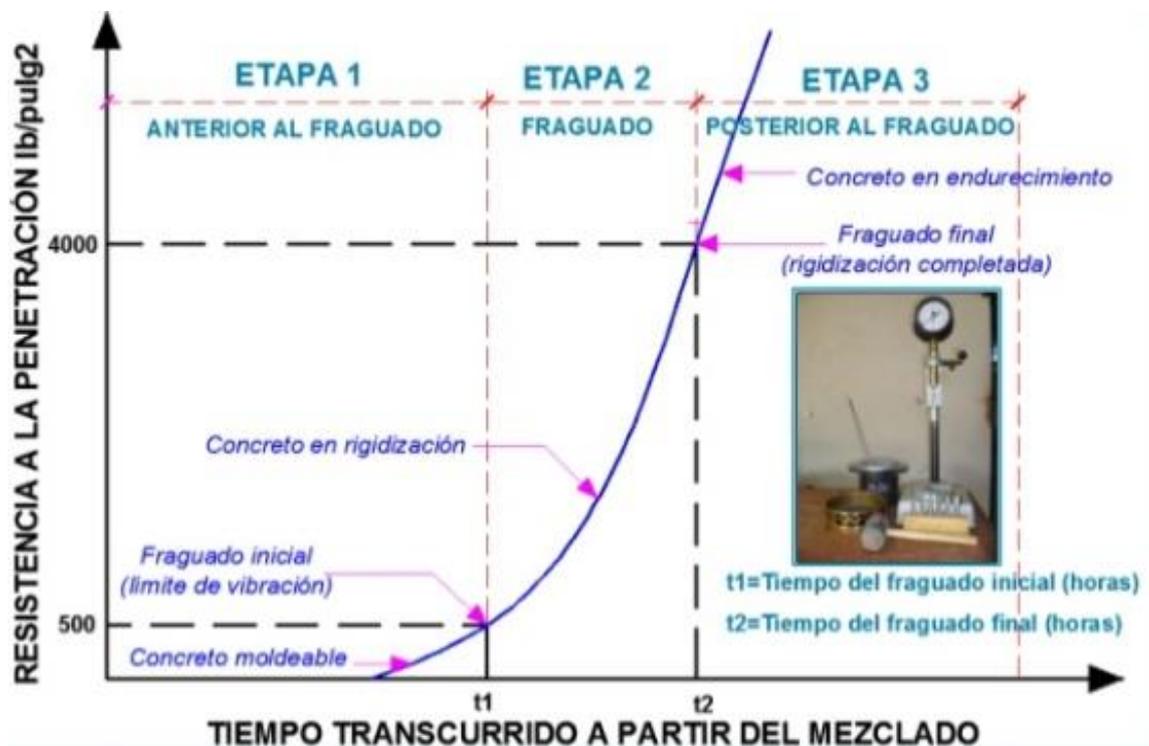
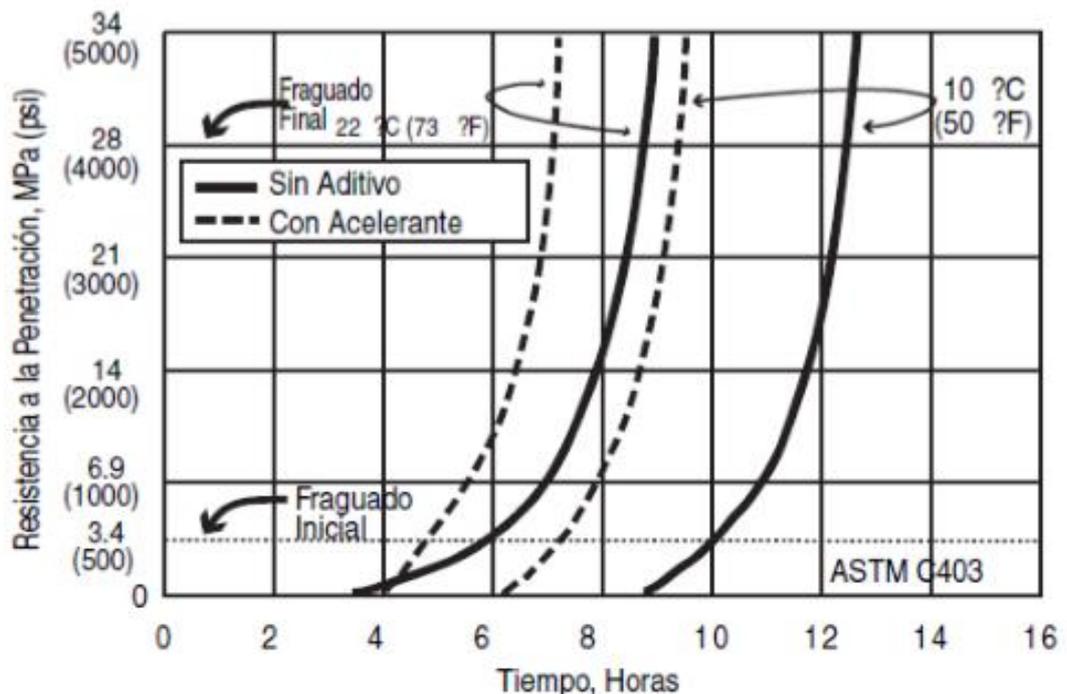


Figura 21: Etapas del fraguado en el concreto. (Beltrán Romero, George, 2016)

El tiempo de fraguado es una propiedad la cual se puede ver alterada por distintos factores. Uno de los factores que está ligado directamente al fraguado es la temperatura, ya que puede ocasionar grandes variaciones dependiendo el clima donde se desarrolle la mezcla, además existen otros componentes los cuales afectan esta propiedad como la relación agua-cemento, agregados, tipo de cemento, aditivos, mezclado, etc.

Para poder determinar el tiempo de fraguado de las mezclas de concreto se realizó el ensayo de penetración basado en la NTP 334.082/ASTM C403. Además, se utilizaron aditivos acelerantes para ver su influencia en el concreto. La NTP 334.088/ASTM C494 exige reducciones mínimas y máximas para el tiempo de fraguado inicial y final, los cuales se pueden observar en la tabla 15.



*Figura 22: Efecto de la temperatura y aditivos tipo C en el fraguado. (BASF, 2006)*

Como se muestra en la Figura 22 uno de los principales factores de la variación del tiempo de fraguado es la temperatura, al incrementar la temperatura, se aumenta el calor, generando un mayor calor de hidratación y por ende un endurecimiento y fraguado más rápido. Asimismo, se aprecia el efecto de los aditivos Tipo C en un concreto convencional, obteniendo grandes reducciones en el fraguado.

Otro factor importante es que los aditivos Tipo C tienen un mayor efecto a temperaturas más bajas, ya que, al incrementar la temperatura del concreto, el calor de hidratación tendrá una mayor influencia en climas fríos.

Para obtener el tiempo de fraguado inicial y final se comienza realizando penetraciones entre las 3 a 4 horas desde el contacto del agua con la mezcla, las siguientes penetraciones se realizan en un rango de 30 a 60 min según la conveniencia, además se debe realizar un mínimo de 6 penetraciones hasta un máximo de 10, teniendo en cuenta que a más penetraciones se obtendrán mejores resultados.

El tiempo de fraguado inicial de la muestra patrón es de 362 min (6 horas aprox.), y la temperatura inicial del ensayo fue de 20.9°C, con lo cual se demuestra que es un valor confiable, el valor cumple con los estudios realizados por la empresa BASF como se muestra en la Tabla 67. Asimismo, se obtuvo un tiempo de fraguado final de 514 min (8 1/2 horas aprox.), valor el cual es aceptable para un concreto convencional.

Tabla 67: Tiempo de fraguado del concreto según su temperatura. (BASF, 2006)

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE FRAGUADO APROXIMADO (horas)
38	1 1/3
32	2 2/3
27	4
<b>21</b>	<b>6</b>
16	8
10	11
4	14
-1	19
-7	No Fragua
más bajas	El concreto se congelará

Los tiempos de fraguado inicial y final son determinados cuando la resistencia a la penetración es de 3.5 MPa (500 lb/ pulg<sup>2</sup>) y 27.6 MPa (4000 lb/ pulg<sup>2</sup>), respectivamente. Asimismo, según la ASTM C403 indica que los valores obtenidos se deben aproximar a una ecuación logarítmica como se muestra en la Figura 23.

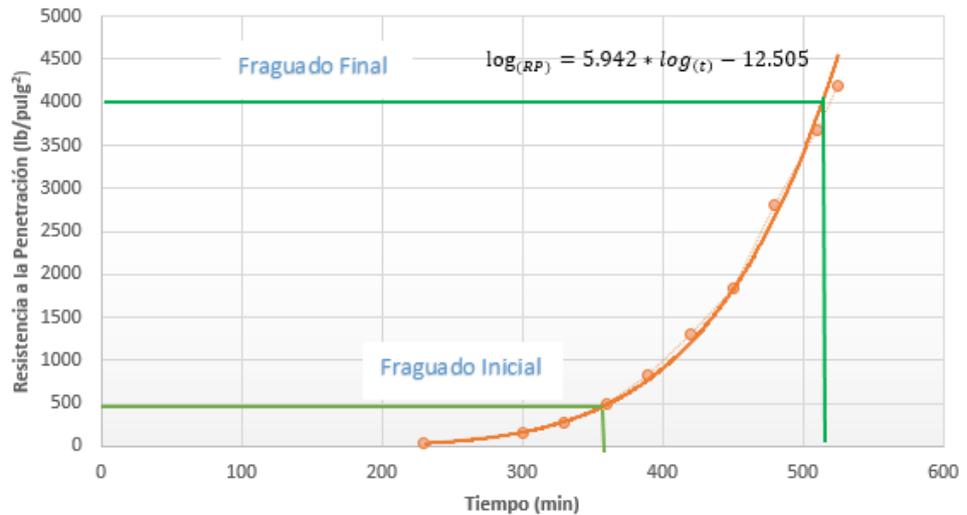


Figura 23: Resistencia a la penetración de la mezcla patrón.

Según la ASTM C 494 la eficiencia de los aditivos Tipo C es medida por una reducción en su tiempo de fragua inicial de 1 hora como mínimo y 3:30 horas como máximo.

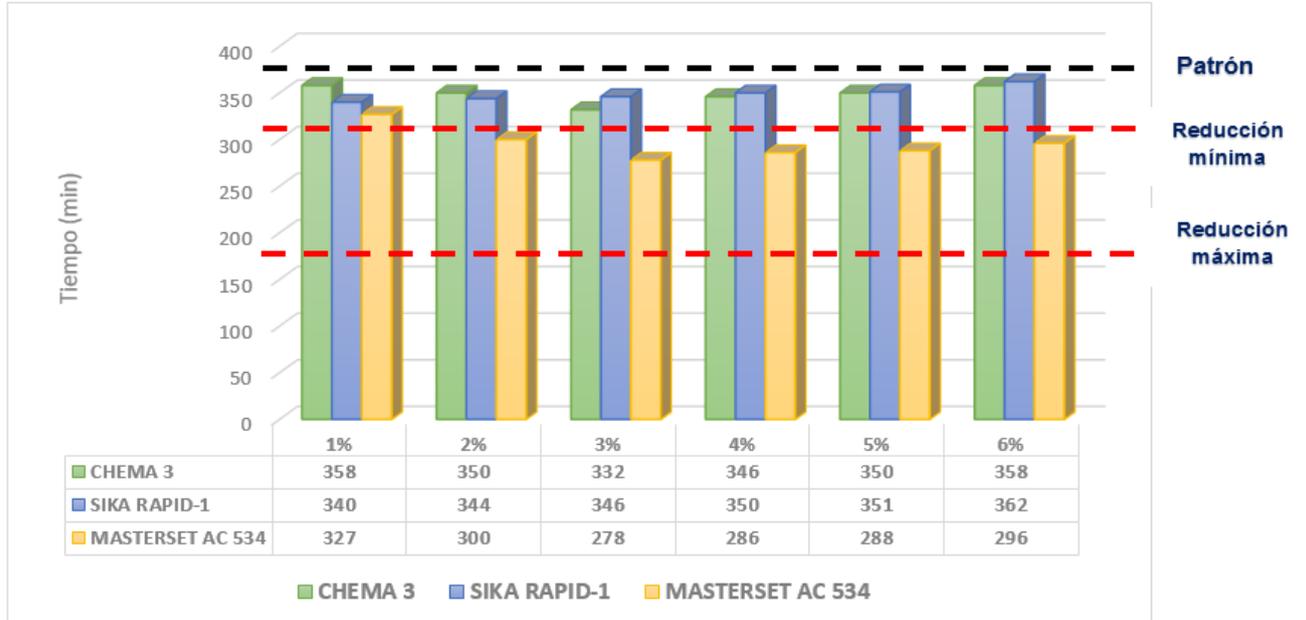


Figura 24: Tiempo de fraguado inicial de las mezclas con aditivos Tipo C.

Como se observa en la Figura 24 al utilizar los aditivos Tipo C se obtienen reducciones considerables en el tiempo de fraguado, sin embargo, esta adición debe ser controlada, ya que si se supera su dosis óptima puede generar problemas de exudación. El aditivo que mayor influencia tuvo es el MasterSet AC 534, ya que

obtiene una reducción de hasta 84 minutos, con lo cual cumple con los requisitos de la norma ASTM C494, sin embargo, al superar el 3% de adición este genera que la mezcla sea más trabajable ocasionando que en el transcurso de las primeras horas ocurra una liberación de líquido el cual retrase el fraguado. Este aditivo al ser un acelerante de fragua, tiene un gran efecto en la hidratación del concreto por lo que debe aumentar el efecto del  $C_3A$  el cual produce un fraguado más violento y a la vez un mayor calor de hidratación.

De la misma forma el aditivo Chema 3 produce reducciones en el tiempo de fragua, sin embargo, solo llega a obtener una disminución de 30 min, esto se debe a que no debe tener un efecto directo en el proceso hidratación de los silicatos y aluminatos, por lo que llega a obtener mínimos resultados. Además, no cumple con los requisitos mínimos que manda la ASTM C494.

El aditivo SikaRapid-1 al ser un acelerante de resistencias tiene como función principal el incrementar las propiedades mecánicas, sin embargo, presenta una reducción de 20 min en el fraguado inicial, esto se debe a que el aditivo tiene prioridad en la hidratación del  $C_3S$ , es el compuesto que brinda las resistencias iniciales, sin embargo, puede que al aumentar el contenido de calcio acelere el proceso de hidratación del cemento.

Asimismo, la ASTM C494 indica una reducción mínima de 1 hora para el tiempo de fraguado final.

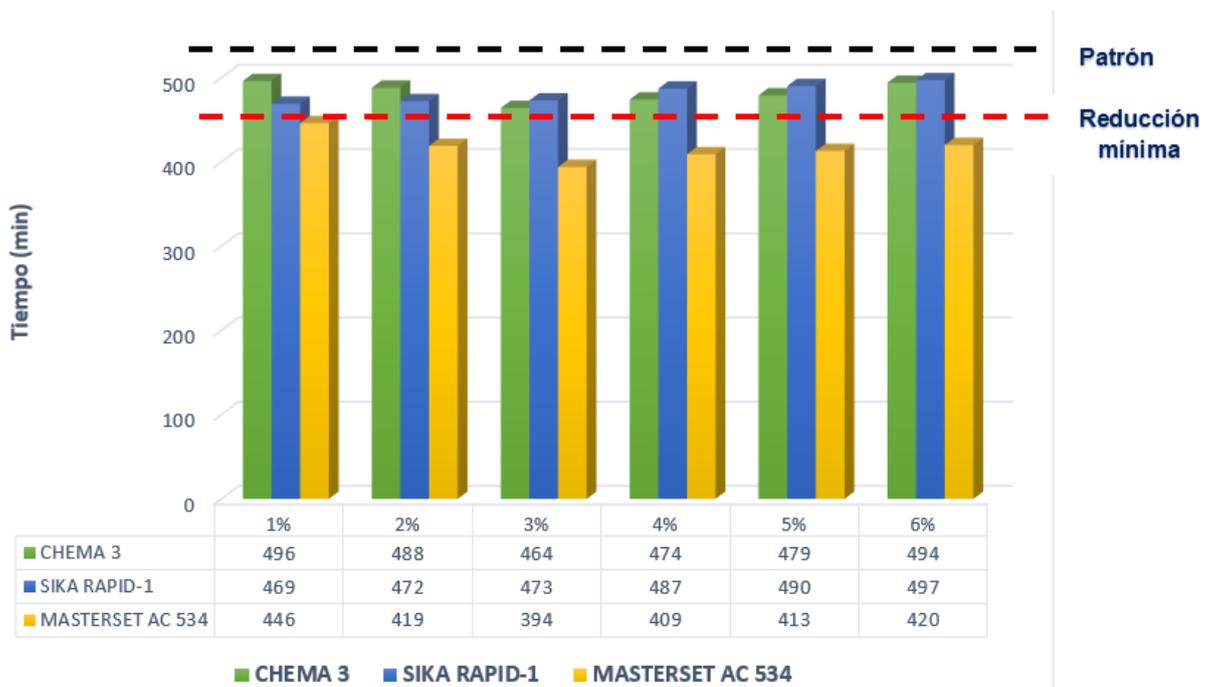


Figura 25: Tiempo de fragua final de las mezclas con aditivo Tipo C.

En la Figura 25 se observa que el aditivo MasterSet AC534 es el único que cumple con las especificaciones de la ASTM C494. Además, se aprecia que tiene una mayor influencia en cuanto al tiempo de fraguado final, presenta una reducción de 120 min (2 horas), esto se debe al incremento del calor de hidratación a medida que pasa el tiempo, a mayor temperatura se acelera el endurecimiento pasando de estado plástico a rígido. Otro factor importante es la relación agua-cemento, los aditivos Tipo C presentan una mayor influencia a relaciones agua/cemento mayor a 0.60. La adición óptima es de 3% por lo que al adicionar dosis mayores aumente su trabajabilidad ocasionando una baja eficiencia.

Con respecto al aditivo Sika Rapid-1 se obtiene una reducción de 45 min, al adicionar dosis mayores al 1% presenta menos eficacia en el fraguado, además que el cemento al contener adiciones reduce la cantidad de Clinker por lo que reduce la cantidad de silicatos y aluminatos, disminuyendo el efecto de los aditivos.

El aditivo Chema 3 presenta una disminución del tiempo de fragua final hasta dosis del 3%, a partir del 4% la mezcla obtiene un estado fluido con el que así tenga una dosis mayor el aditivo ya no trabaja al 100%, ya que al presentarse un efecto de exudación puede haber pérdida del aditivo con lo cual en vez de mejorar las propiedades las reduciría incrementando los costos innecesariamente. La reducción máxima que presenta es de 50 min, y a pesar de no cumplir con la norma ASTM C494 obtuvo valores muy cercanos a esta.

De los resultados podemos afirmar que a mayor dosis de los aditivos Tipo C pueden presentarse mejoras en el tiempo de fraguado, sin embargo, estas dosis deben ser medidas, ya que para un concreto convencional se necesita cantidades no tan elevadas con lo cual tenga una buena reacción con las partículas de cemento, además, según la prueba F de Fisher los datos obtenidos tienen un gran grado de validez. Asimismo, el tiempo de fraguado nos permite conocer el tiempo necesario en el cual la mezcla puede ser trabajada, moldeada y compactada sin afectar su estructura interna.

### 5.3.3. Temperatura

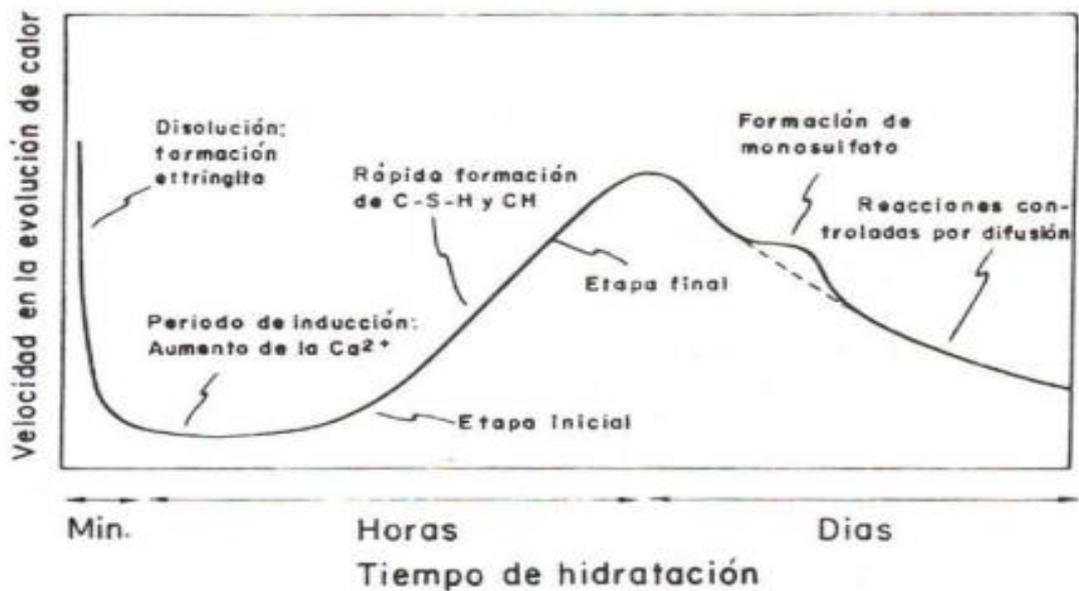
El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el agua y el cemento. La cantidad de calor generado depende, principalmente, de la composición química del cemento, siendo el  $C_3A$  y el  $C_3S$  los compuestos más importantes para la evolución del calor.

Existen otros factores que intervienen en la evolución del calor como la relación agua/cemento, la finura, el contenido de cemento y la temperatura de curado, que,

al incrementar la finura, el contenido de cemento y la temperatura de curado aumentan el calor de hidratación. El cemento portland puede liberar calor por muchos años, sin embargo, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas, se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con una mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo en las primeras 24 horas.

La temperatura es una propiedad la cual puede influenciar mucho en las propiedades del concreto, a mayor calor se producirá un incremento del endurecimiento en menos tiempos, alcanzando mayores resistencias tempranas y mejores resultados en el tiempo de fraguado.

La evolución del calor es un proceso muy importante, el cuales se pueden dividir en etapas conforme pasa el tiempo.



Etapa I	Etapa II	Etapa III y IV	Etapa V
---------	----------	----------------	---------

Figura 26: Evolución del calor de hidratación del cemento. (La Torre Oyamel Verónica, 2009)

En la Figura 26 se muestra la evolución del calor a medida que ocurre la hidratación del cemento. En la etapa I se da el calor de humedecimiento o la hidrólisis inicial (hidratación del C<sub>3</sub>A y C<sub>3</sub>S). La etapa II es el periodo de incubación relacionado al tiempo de fragua inicial, se da un aumento del contenido de calcio. La etapa III es una reacción acelerada de los productos de hidratación (C-S-H y CH), la cual determina el endurecimiento y el tiempo de fraguado. En la etapa IV hay una desaceleración en la formación de los productos de hidratación, además

en esta etapa se determina la tasa de aumento de la resistencia inicial. Finalmente, la etapa V es lenta, y se caracteriza por la formación estable de los productos de hidratación, logrando estabilizar la tasa de aumento de resistencias a edades avanzadas.

Asimismo, se muestra un esquema de la etapa inicial, intermedia y final de la hidratación del cemento portland, la cual es visualizada en la Figura 27.

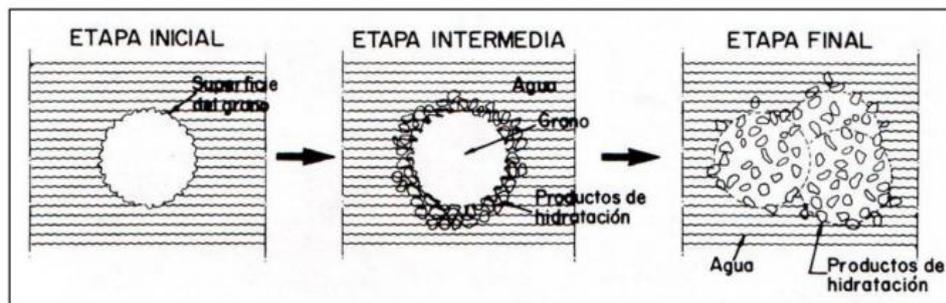


Figura 27: Etapas de la hidratación del cemento. (La Torre Oyanadel Verónica, 2006)

Al utilizar aditivos acelerantes no solo se mejora las propiedades mecánicas y el fraguado, sino que a la vez acelerará el aumento del calor de hidratación produciendo un endurecimiento repentino.

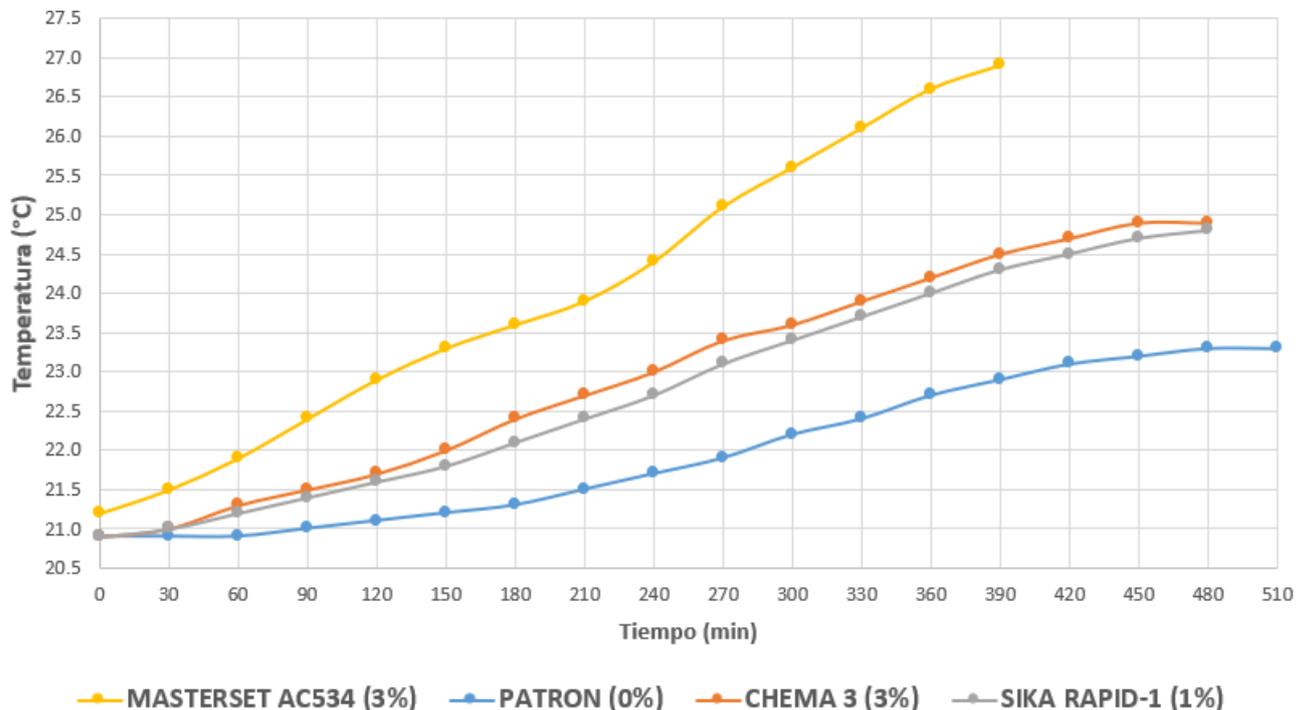


Figura 28: Temperatura de las mezclas con aditivos Tipo C en su dosis óptima.

En la Figura 28 se muestra como al adicionar porcentajes de aditivos Tipo C en función al peso del cemento se incrementa la temperatura conforme pasa el tiempo. Estos valores son contrastados con el tiempo de fraguado, ya que en la etapa de hidratación se produce un fenómeno exotérmico, que al adicionar los aditivos generan un aumento de concentración de iones de  $Ca^{2+}$  y a la vez una gran liberación de calor, por tanto, a más calor de hidratación mayor será la temperatura del concreto produciendo reducciones en el tiempo de fraguado.

Los aditivos Tipo C en su mayoría aumentan el proceso de hidratación del  $C_3S$  y  $C_3A$  para así ganar resistencias e incrementar el fraguado. Los acelerantes de fragua tienen un mayor efecto con los aluminatos, sin embargo, la presencia del yeso controla el efecto de los aluminatos produciendo un moderado calor de hidratación, es por ello que al adicionar los acelerantes de fragua interrumpen este proceso con el cual se aumenta el contenido e hidratación de los aluminatos suscitando un aumento de la temperatura, ya que el  $C_3A$  es el componente del Clinker que genera un mayor calor de hidratación (207 cal/g).

El aditivo MasterSet AC534 es el que presenta un mayor incremento de temperatura con lo cual en el transcurso de 6 horas alcanzó a incrementar la temperatura en 5.4 °C con respecto a la mezcla patrón, valor el cual influye bastante en las propiedades en estado fresco. Con los datos obtenidos se afirma que este aditivo produce un avance promedio de casi 0.5 °C cada 30 min, además tiene el doble de eficiencia sobre los otros aditivos en cuando a incrementos de temperatura.

El aditivo Sika Rapid-1 no obtuvo incrementos muy elevados en cuando al aumento de la temperatura, su mecanismo de acción es más efectivo después del proceso de fraguado, sin embargo, logro obtener un avance promedio de 0.24 °C cada 30 min, lo cual es considerable con respecto a la mezcla patrón. Cabe mencionar que al no tener un gran efecto en la temperatura y por ende en el fraguado la mezcla mantendrá una mayor trabajabilidad durante más tiempo. Con respecto al aditivo Chema 3, a pesar de ser un acelerante de fragua solo tuvo un incremento promedio de 0.25 °C cada 30 min, lo cual género que exista un endurecimiento más rápido, pero no lo suficiente para cumplir con los tiempos de fraguado mínimo que manda la ASTM C494.

De los resultados podemos afirmar que los aditivos acelerantes tienen un mayor efecto siempre y cuando se produzca un gran incremento del calor de hidratación, ya que la temperatura genera cambios principalmente en las propiedades en estado fresco de la mezcla de concreto.

## 5.4. Propiedades en estado endurecido

### 5.4.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a compresión es la propiedad la cual define el uso del concreto, ya sea estructural o no estructural. Esta propiedad va a ser influenciada por la microestructura del concreto, la relación agua/cemento, el tamaño de los agregados, el tipo de cemento y otros factores relacionados a las adiciones, amasado y tiempo de curado.

El cemento es el principal componente el cual dependiendo la cantidad en la mezcla puede obtener elevadas resistencias. La resistencia a la compresión dependerá mucho de la relación agua/cemento, a menores relaciones se alcanzará una mayor resistencia. Por otro lado, la evolución o aumento de las resistencias dependerán del tiempo de curado, a mayores días de curado alcanzará mayores resistencias, teniendo en cuenta que a partir de los 28 días el incremento es mínimo.

En cuanto a la microestructura del concreto existen componentes del cemento los cuales brindan mejores resistencias iniciales y finales, estos componentes son el  $C_3S$  y  $C_2S$  respectivamente, los cuales ocupan un alto porcentaje en el Clinker. Además, no solo depende de ello sino de otras propiedades como la porosidad y la absorción ya que si el concreto es más poroso en su estructura se encontrará una gran cantidad de vacíos lo cual genere una pérdida de resistencias. Asimismo, una trabajabilidad adecuada es muy importante, ya que no solo influye en el vaciado de la mezcla sino en el acomodo de los agregados para una perfecta distribución, evitando problemas de segregación y a la vez pérdidas de resistencias.

Para someter los testigos al ensayo de compresión se elaboraron especímenes de concreto bajo la norma NTP339.183/ASTM C39, cuyas dimensiones fueron de  $\varnothing$  100mm y  $h=$  200mm. Como se requiere ver el proceso de evolución o ganancia de resistencias se pasó por un proceso de curado de 3, 7, 14 y 28 días, y para ser ensayados fueron refrendados con mortero de azufre bajo la NTP 339.037/ ASTM C617.

La resistencia a compresión diseñada fue de 210  $Kg/cm^2$ , teniendo en cuenta un factor de seguridad de +84  $Kg/cm^2$ . Al finalizar los ensayos la mezcla patrón obtuvo una resistencia a 3 días de curado de 148  $Kg/cm^2$ , a 7 días de 184  $Kg/cm^2$ , a 14 días de 224  $Kg/cm^2$  y finalmente a 28 días de 268  $Kg/cm^2$ . Esto se debe a que se realizó un correcto diseño de mezcla, una buena caracterización de los agregados y un buen conformado de las probetas, obteniendo una resistencia a

la compresión a los 28 días entre los 210 Kg/cm<sup>2</sup> y 294 Kg/cm<sup>2</sup>, encontrándose en el rango de diseño.

Además, las resistencias a 3, 7 y 14 días de curado obtuvieron porcentajes respecto a la de 28 días de 55%, 69% y 84% respectivamente, valores que cumplen lo estipulado para una mezcla de concreto utilizando cemento Ico con una relación agua/cemento de 0.61 de acuerdo con la investigación de (Sanchez Muñoz, Tapia Medina, 2015).

La adición de los aditivos Tipo C conllevan al aumento de las resistencias a temprana edad, lo cual genera una alternativa de solución, evitando los retrasos de obra. Esta adición debe ser controlada o en el mejor de los casos utilizarlo en su porcentaje óptimo, ya que estos aditivos aceleran el proceso de hidratación de los silicatos aumentando el calor de hidratación y su resistencia. Al ser acelerante sin cloruros su efecto consiste en el aumento de partículas de calcio y a la vez la disminución de sulfatos, lo cual al tener contacto con el agua se crean una mayor cantidad de productos de hidratación (C-S-H) lo que conlleva a un endurecimiento repentino y un incremento de la resistencia.

Los aditivos Tipo C pueden ser acelerantes de fragua y/o resistencias.

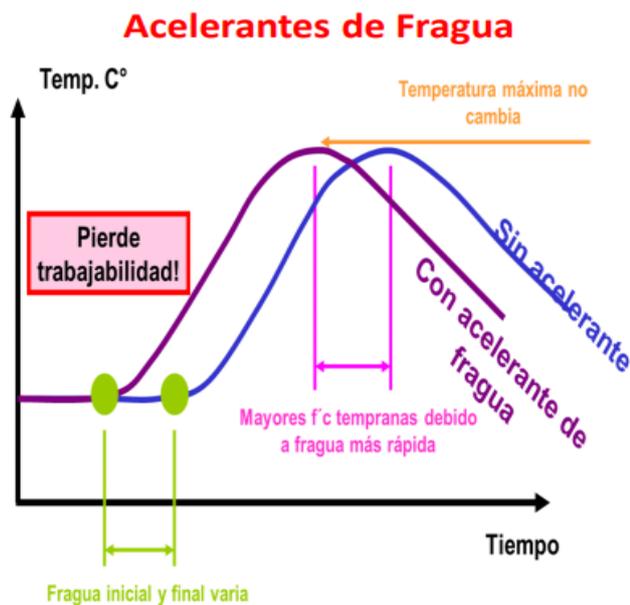


Figura 29: Modo de acción de los acelerante de fragua. (SIKA, 2015)

Como se muestra en la Figura 29 el mecanismo de acción de los acelerantes de fragua consiste en obtener elevadas resistencias iniciales desde el inicio del proceso del fraguado, con lo cual produce un endurecimiento repentino que

conlleva a reducir el tiempo de fragua y a la vez una pérdida de trabajabilidad de la mezcla. Estos aditivos obtienen mayores resistencias tempranas debido al proceso de fraguado más rápido.

Además, la temperatura máxima no cambia sin embargo se observa que la alcanza en menos tiempo, ya que se produce un aumento de la temperatura. Asimismo, se genera un decrecimiento de las resistencias finales a largo plazo.



Figura 30: Modo de acción de los acelerantes de resistencias. (SIKA, 2015)

Por otro lado, en la Figura 30 se muestra el mecanismo de acción de los acelerantes de resistencias, el cual consiste en obtener elevadas resistencias iniciales después del proceso del fraguado, por ello es que el tiempo de fragua no es alterado notoriamente ocasionado que no se genere una pérdida de trabajabilidad en la mezcla. Estos aditivos obtienen resistencias más altas después de la fragua final lo que conlleva que su efecto solo sea exclusivamente en alcanzar altas resistencias a temprana edad.

Además, al incrementar las resistencias también se produce un incremento del calor de hidratación después del fraguado, alcanzando la temperatura máxima en menor tiempo.

Asimismo, las resistencias finales se ven afectadas a medida que pasa el tiempo sin embargo su pérdida no es notoria debido a que su efecto es directamente en el incremento de resistencias.

Para ver la influencia de los aditivos se obtendrá las resistencias a 3, 7, 14 y 28 días de curado verificando los requisitos mínimos que establece la ASTM C494.

La ASTM C494 indica que los aditivos Tipo C deben obtener un incremento mínimo del 25% en la resistencia a la compresión a los 3 días de curado.

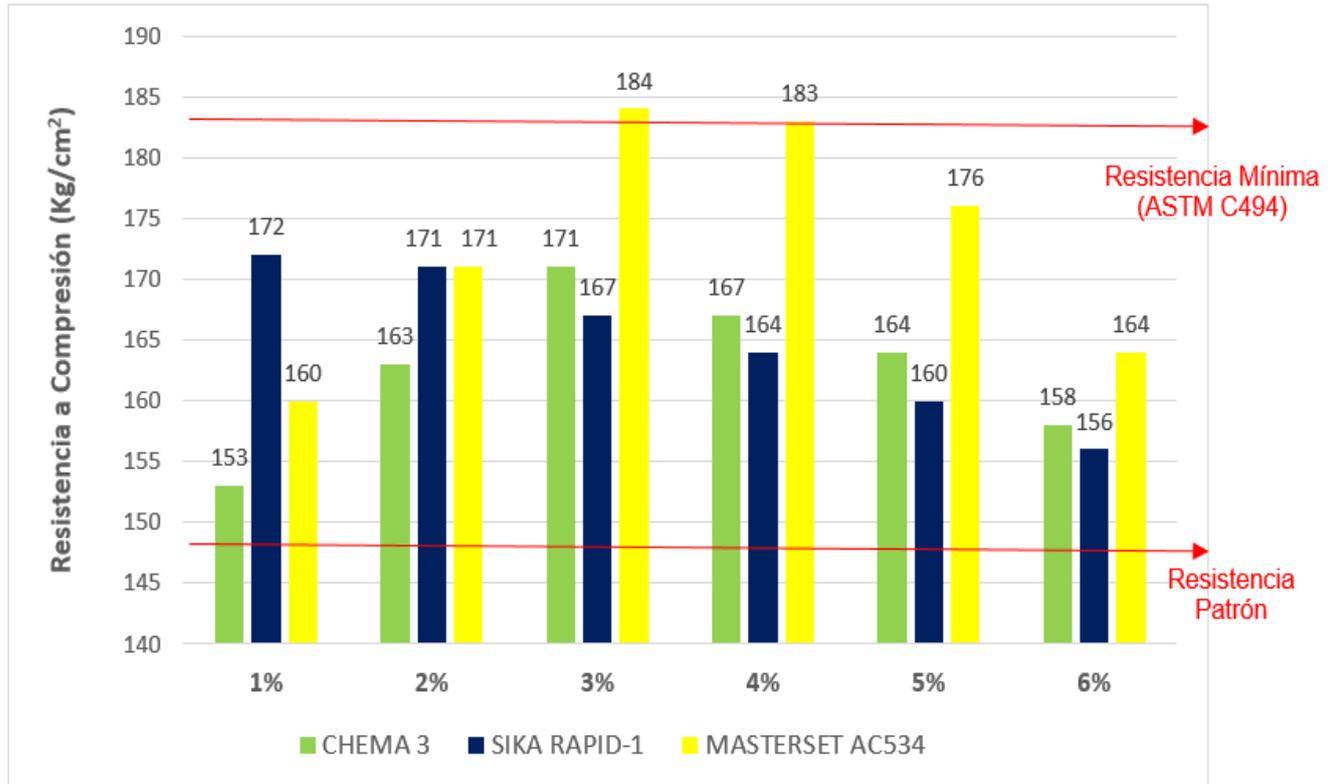


Figura 31: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 3 días de curado.

Como se observa en la Figura 31 al utilizar aditivos tipo C se produce un incremento en la resistencia a la compresión. Los mayores incrementos se producen desde que se hizo la mezcla hasta los 3 días de curado, los acelerantes intervienen en la hidratación del  $C_3S$  (Alita) el cual es el componente mayoritario del Clinker y el encargado de brindar las resistencias iniciales, por lo que al mejorar su hidratación y aumentar el contenido de calcio se genera un aumento de la resistencia.

El aditivo MasterSet AC534 obtuvo una resistencia de 182 Kg/cm<sup>2</sup> con una adición del 3% a los 3 días de curado con el cual fue la máxima resistencia alcanzada. Esto se debe a que este aditivo tiene una mejor reacción con los productos de hidratación y a la vez con el  $C_3S$  incrementando el endurecimiento, el calor de hidratación y la resistencia. Cabe mencionar que es el único aditivo ensayado que obtuvo a los 3 días de curado la resistencia de la probeta patrón a los 7 días de curado.

El aditivo Sika Rapid-1 tuvo una influencia regular en cuanto al incremento de la resistencia, sin embargo, es el que presenta una mayor eficacia en la dosis del 1%, por lo que puede llegar a tener una mayor eficacia si se adicionan porcentajes más específicos. La resistencia obtenida en su porcentaje óptimo del 1% es de 172 Kg/cm<sup>2</sup> con lo cual no cumple con los requisitos que manda la ASTM C494 para los aditivos tipo C, sin embargo, al tener un efecto mayor en dosis pequeñas su costo es mucho menor.

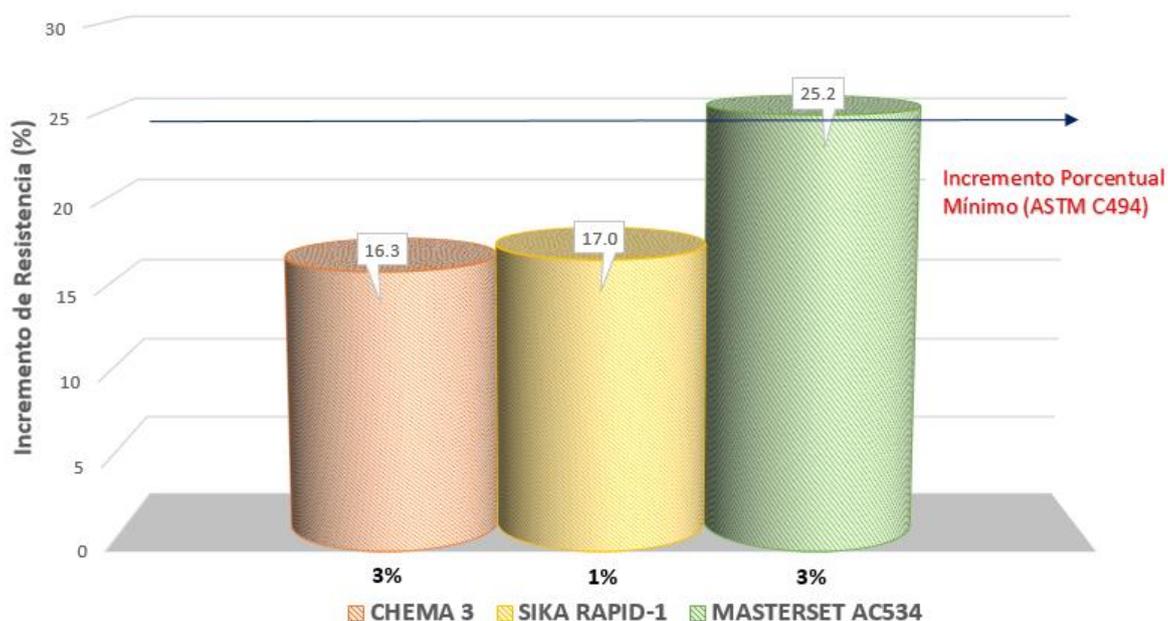


Figura 32: Incremento porcentual del concreto con aditivos Tipo C a los 3 días de curado

El aditivo Chema 3 es el que obtuvo los menores resultados en cuanto a la resistencia a los 3 días de curado, ya que consiguió alcanzar 171 Kg/cm<sup>2</sup> al 3% de adición, por lo cual no sería considerado como un acelerante ya que su costo no justificaría su eficiencia. Asimismo, se corrobora lo que concluyo en su investigación (Baca P., Boy S., 2015), los cuales afirman que el aditivo Chema 3 no presenta grandes incrementos de resistencia en edades tempranas.

Los aditivos Chema 3, Sika Rapid-1 y MasterSet AC534 presentaron un incremento porcentual de 16%, 17% y 25% respectivamente a los 3 días de curado, con lo cual el único aditivo que cumple con el requisito de un incremento mínimo del 25% según la ASTM C494 es el aditivo MasterSet AC534, tal y como se muestra en la Figura 32.

El concreto a mayor tiempo de curado obtiene mayores resistencias, sin embargo, no sucede lo mismo con los aditivos acelerantes, su mayor eficiencia se da en los primeros días. Esto se debe a que el componente principal del concreto es el cemento, material que está compuesto en su mayoría por Clinker, el cual tiene

entre el 50% y 70% de  $C_3S$ , componente que brinda las resistencias iniciales. Además, los principales productos de hidratación son los silicatos cálcicos hidratados (C-S-H), por ende, al tener un mayor contenido de  $C_3S$  los acelerantes tienen más efecto en los primeros días. Además, según la validez estadística de la prueba F de Fisher se demuestra que hay una mayor influencia en los porcentajes de adición a los primeros días de curado.

La ASTM C494 indica que los aditivos Tipo C como mínimo deben obtener la resistencia de la probeta patrón para los 7 días de curado.

Al adicionar dosis de acelerantes en función al peso del cemento se incrementa la resistencia a la compresión a los 7 y 14 días, esto se puede apreciar en la Figura 33 y 34.

De igual forma que a los 3 días de curado el aditivo MasterSet AC534 obtuvo las más altas resistencias, las cuales fueron de 215  $Kg/cm^2$  y 246  $Kg/cm^2$  para 7 y 14 días de curado respectivamente. Asimismo, el porcentaje óptimo para estos días de curado fue del 3%, ya que al superar esta dosis el concreto presenta una trabajabilidad de casi 7" ocasionando problemas de exudación y pérdida del aditivo, además al 3% se alcanza una concentración máxima de calcio por lo que a mayores dosis ya no tendrá efecto y solo ocasionará pérdidas de resistencia e incrementos de costos. Este aditivo obtuvo incrementos porcentuales del 17% para los 7 días y 10% para los 14 días, resultados que cumplen con lo estipulado en la ASTM C494 para 7 días de curado. Para los 14 días la ASTM C494 no brinda valores de incrementos mínimos porcentuales, sin embargo, se debe obtener resistencias mayores a la probeta patrón, ya que es lo que se requiere a los 7 y 28 días de curado. Es por ello que los resultados obtenidos a los 14 días también son adecuados.

El aditivo Sika Rapid-1 al igual que a los 3 días presenta mayores resistencias en la dosis del 1% a los 7 y 14 días de curado. Este aditivo al ser un acelerante de resistencias tiene un gran efecto con menor contenido de aditivo, ya que su mecanismo de acción se centra únicamente en la hidratación de los silicatos, teniendo en cuenta que al excederse de la dosis óptima no existirá una hidratación adecuada provocando grandes pérdidas de resistencias. Las resistencias máximas alcanzadas para los 7 y 14 días de curado son de 204  $Kg/cm^2$  y 240  $Kg/cm^2$  respectivamente. Además, se obtuvieron incrementos de 7% y 11% para 7 y 14 días respectivamente, con lo cual se cumple con los requisitos de la ASTM C494 para estos días de curado.

De igual forma ocurre con el aditivo Chema 3 el cual presenta mayores resistencias a los 7 y 14 días con la misma dosis que a los 3 días. Su efecto es el

menor, sin embargo, al obtener resistencias de 202 Kg/cm<sup>2</sup> y 233 Kg/cm<sup>2</sup> para los 7 y 14 días de curado respectivamente cumplen con la ASTM C494, ya que obtienen incrementos de 10% para 7 días y 4% para 14 días.

De los resultados obtenidos a los 7 y 14 días de curado se afirma que los aditivos Tipo C pierden su efecto conforme pasa el tiempo, sin embargo, no obtienen resistencias menores que la probeta con mezcla sin adición.

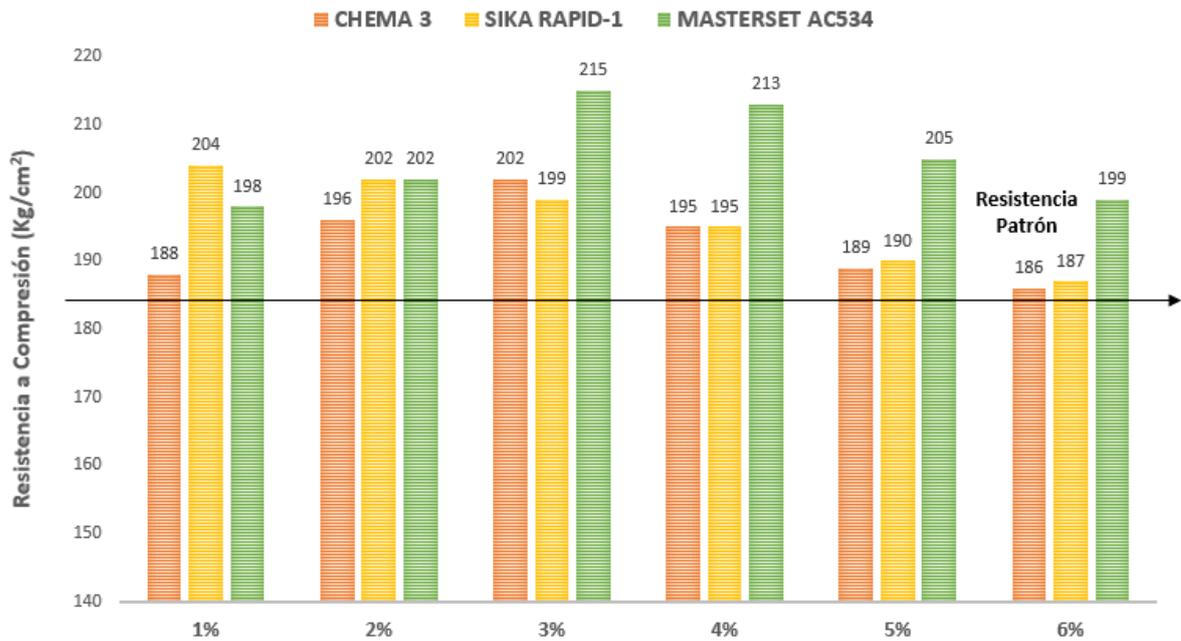


Figura 33: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 7 días de curado.

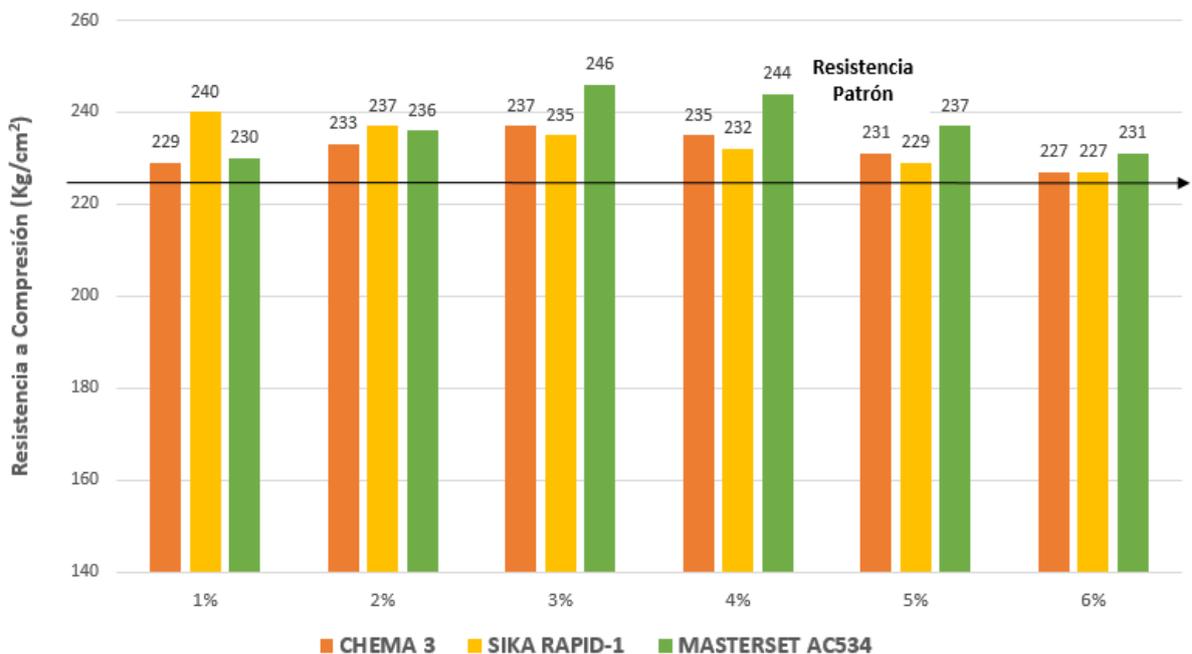


Figura 34: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 14 días de curado.

La ASTM C494 indica que, a los 28 días de curado los aditivos Tipo C como mínimo deben obtener la resistencia de la probeta patrón.

Las resistencias a los 28 días son fundamentales, ya que se verifica si se cumplió el diseño requerido. Por otro lado, al adicionar aditivos acelerantes Tipo C se incrementan las resistencias, sin embargo, este aumento no es muy notorio, se producen incrementos menores al 5% (Ver Figura N°33). Este efecto se produce debido que el componente encargado del aumento de las resistencias finales es el Silicato Dicálcico o belita ( $C_2S$ ), el cual tiene un contenido dentro del Clinker del 15 al 30%, por ello al tener un contenido muy bajo no tiene mucha incidencia en cuanto a la aplicación de los acelerantes en el proceso de hidratación. Asimismo, cabe mencionar que el cemento tipo Ico tiene un menor contenido de Clinker lo cual dificulta mucho más el incremento de las resistencias finales.

De la misma forma que en los anteriores días de curado el aditivo MasterSet AC534 es el que tiene mayores incrementos en la resistencia a compresión a 28 días, alcanzando un valor de  $181 \text{ Kg/cm}^2$  con un aumento del 5% respecto a la muestra patrón. Su dosis óptima fue la del 3%, ya que, al superar este contenido de aditivo, el concreto no desarrolla una ganancia de resistencia y se incrementan los costos.

El Aditivo Sika Rapid-1 al ser un acelerante de resistencias presentó un valor de  $177 \text{ Kg/cm}^2$  con un incremento del 3% respecto a la muestra patrón a los 28 días de curado. A pesar de que su adición es mínima es el aditivo que mayores resultados obtiene con menores dosis de adición. Sin embargo, se debe tener en consideración los porcentajes de adición, ya que al 6% no obtiene ningún aumento de resistencia e incluso conforme pase el tiempo puede conseguir resistencias menores a la diseñada. Con el aditivo Chema 3 se obtuvo ganancias muy pequeñas, se alcanzó una resistencia de  $172 \text{ Kg/cm}^2$  con un incremento del 2% respecto a la muestra patrón a los 28 días de curado. No solo al agregar dosis mayores al 3% de este aditivo puede llegar a no ser tan eficaz, sino que también puede ocasionar una disminución de la resistencia como se aprecia al 6% de adición. Esto se debe a que a los 28 días el aumento es casi nulo y al adicionar más de la dosis requerida se puede alterar la estructura del concreto produciendo mayores pérdidas a largo plazo.

Al final se demuestra que los aditivos acelerantes tienen una gran influencia en el concreto, sin embargo, su uso debe ser medido, porque hasta su dosis óptima alcanza altas resistencias, pero al adicionar una dosis mayor a la óptima esta baja tal y como menciona Bocanegra (2016). Además, esto se corrobora según la validez de los datos a través de la prueba F de Fisher con un alto nivel de confiabilidad.

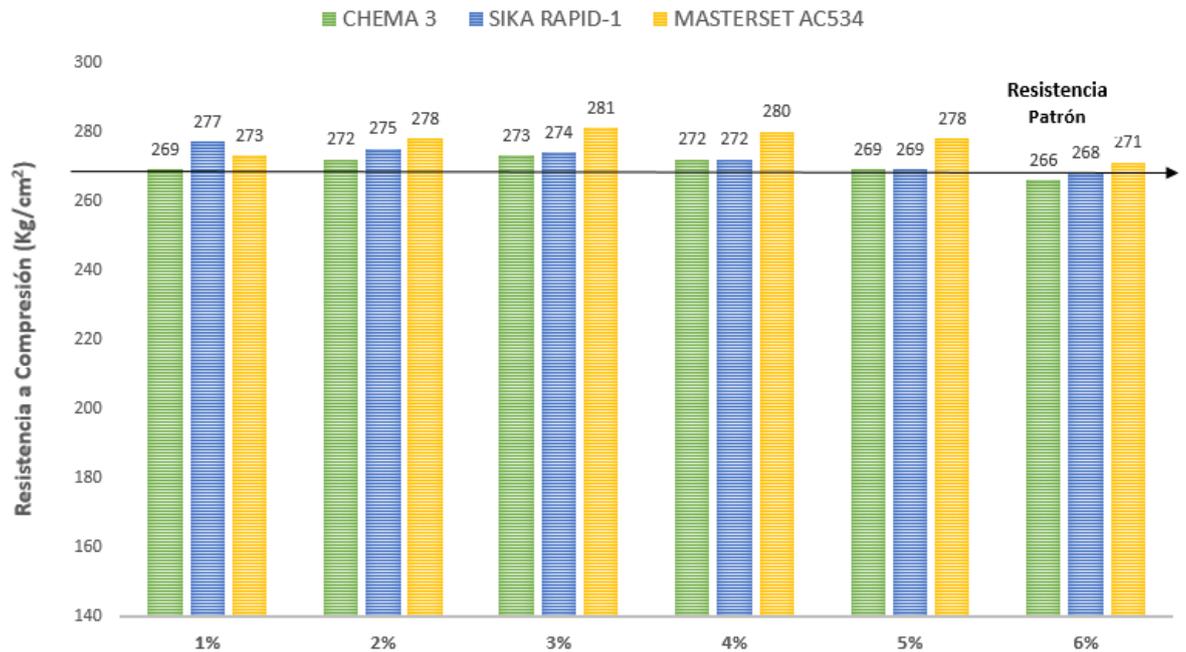


Figura 35: Resistencia a la compresión del concreto con aditivos Tipo C a 28 días de curado.

Por último, se afirma que el aditivo MasterSet AC534 obtuvo los mejores resultados, seguido por el aditivo SikaRapid-1 y finalmente el Chema3. En la Figura 36 se muestra la evolución de cada mezcla con aditivos Tipo C en su porcentaje óptimo para los 3, 7, 14 y 28 días de curado.

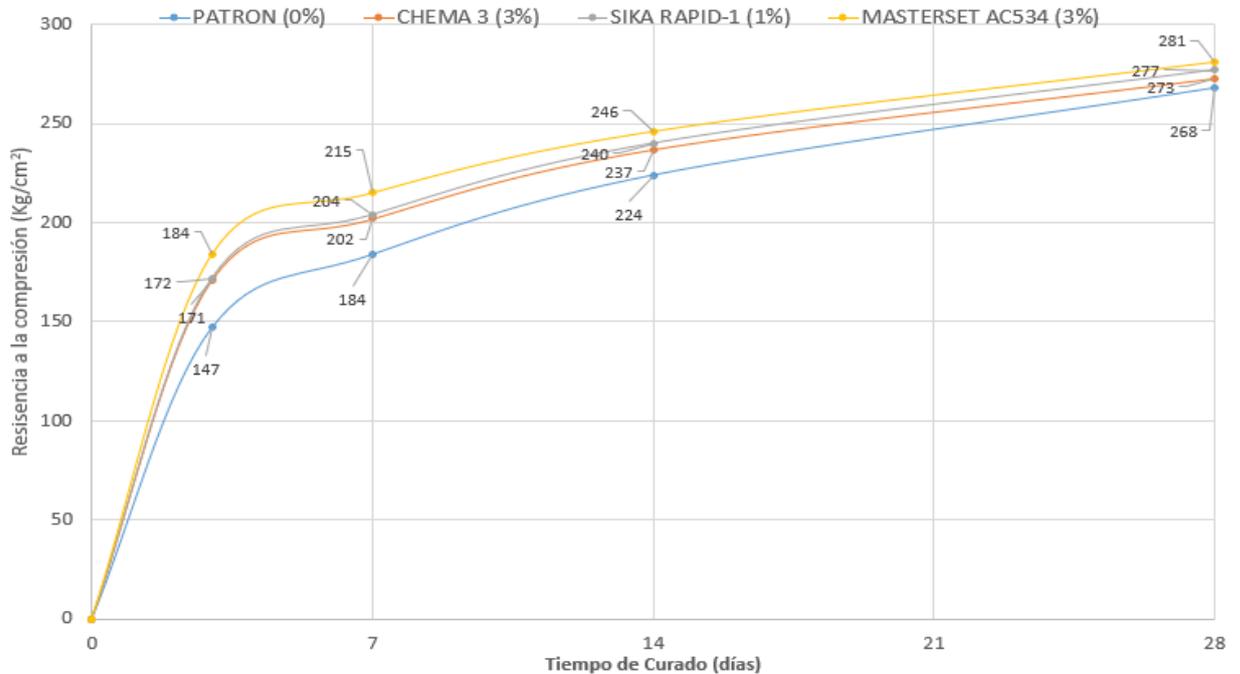


Figura 36: Resistencias a diferentes días de curado para mezclas con aditivos Tipo C.

## 5.5. Evaluación económica de los aditivos Tipo C

En la actualidad existen bastantes obras en las cuales se requiere una alta resistencia a temprana edad, sin embargo, el principal problema que presentan los concretos de alta resistencia es su elevado costo, para obtener una resistencia de aproximadamente 185 Kg/cm<sup>2</sup> a los 3 días, se necesita realizar un concreto de  $f'c = 370$  Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, con lo cual se obtendría un costo muy elevado.

Es por ello que al adicionar los aditivos acelerantes tipo C se obtendrán dichas resistencias sin obtener un costo tan elevado. Además, no solo se tendrá una gran influencia en la resistencia sino también en el fraguado y trabajabilidad, lo cual beneficiará al avance de obra evitando retrasos y promoviendo rápidos desencofrados. Asimismo, el acelerar el fraguado puede ser muy útil para obras que necesiten alcanzar más altas resistencias a un 1 día de curado.

Los aditivos Tipo C son muy beneficiosos en cuanto a la presencia de algún imprevisto de obra y si se requiere acelerar el proceso constructivo, evitando pérdidas económicas grandes, ya que mientras más tiempo dure la obra más elevado será el costo debido a la mano de obra.

Los costos para la elaboración de una mezcla de concreto convencional está constituido básicamente por el precio del cemento, agregado, aditivo y en pequeña escala el agua.

En la Figura N°35 se muestra una comparación de los costos utilizando los aditivos Tipo C Chema 3, Sika Rapid-1 y MasterSet AC534 en sus porcentajes de adición óptimos. Cabe recalca que los costos presentados en la presente investigación son referenciales, dado que existe una variación de los índices de construcción mensualmente, los cuales son publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

Con respecto a los costos de los aditivos Tipo C, fueron obtenidos a través de un asesor de ventas de cada empresa que se utilizó un aditivo. El aditivo MasterSet AC 534 tiene un costo de S/.2100 por cilindro de 55 galones, mientras que el Sika Rapid-1 tiene un costo de S/.500 por cilindro de 180 litros, asimismo el aditivo Chema 3 tiene un costo de S/.1106 por cilindro de 55 galones. Con estos datos obtenidos se fijan precios por litro para los aditivos MasterSet AC 534, Sika Rapid-1 y Chema 3 de S/.10.1, S/.9.00 y S/.5.32 respectivamente.

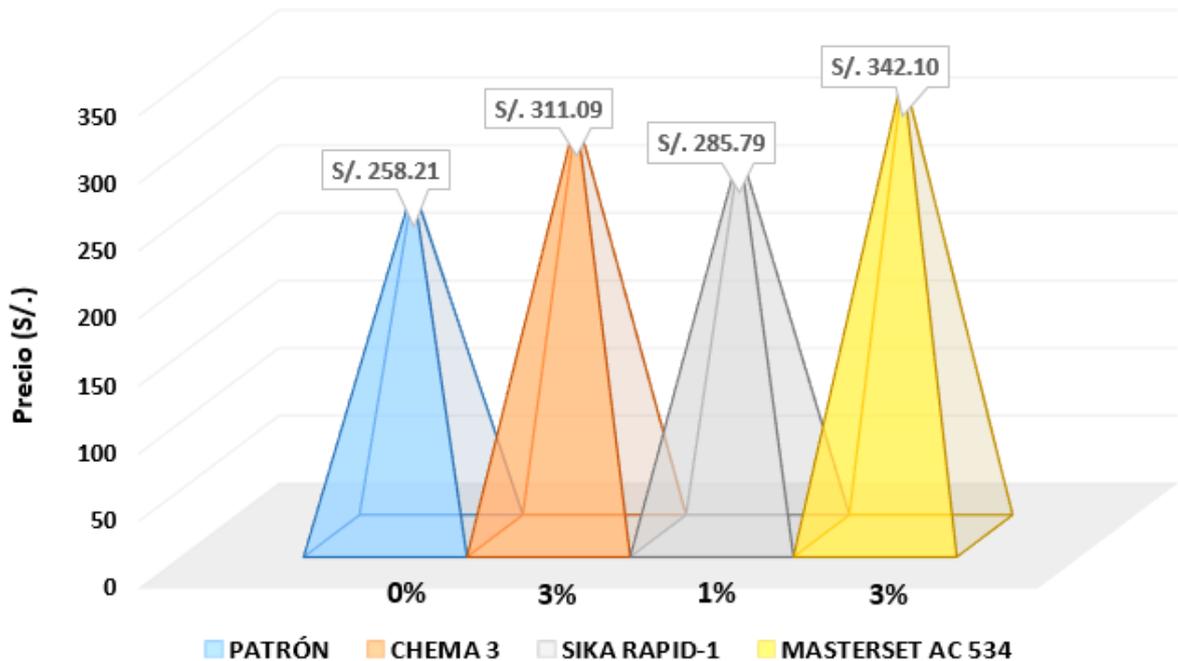


Figura 37: Evaluación de costos por  $m^3$  del concreto con aditivos Tipo C

Al utilizar aditivos acelerantes Tipo C se mejoran las propiedades del concreto, sin embargo, estos producen un incremento en el costo de elaboración de dicho material.

Para ver la influencia o incremento de los costos de cada aditivo solo se tuvo en cuenta su porcentaje óptimo, ya que es el que mejor resultados alcanzó.

El costo de producción de un metro cúbico de concreto convencional para la muestra patrón es de S/.256.76, con lo cual al utilizar el aditivo MasterSet AC534 en dosis del 3% respecto al peso del cemento su precio se elevó hasta los S/.340.31 obteniendo un incremento del 32.5%. Al utilizar este aditivo el costo se eleva en S/.83.55 por  $m^3$ , el cual es justificable, ya que es el único aditivo que cumplió con los requisitos impuestos por la ASTM C494 tanto para su resistencia como para su tiempo de fraguado. Asimismo, mencionar que para el tiempo de fraguado supero los requisitos mínimos por mucho alcanzando grandes reducciones y obteniendo una mejor trabajabilidad en la mezcla, por ello este aditivo sería el único recomendable si se requiere alcanzar altas resistencias en tiempos menores a los 3 días de curado.

Con respecto al aditivo Chema 3 al utilizarlo al 3% con respecto al peso del cemento el costo por metro cúbico se elevó hasta los S/.309.45 obteniendo un incremento del 20.5%. Este aditivo genera un costo mayor con respecto a la mezcla patrón de en S/.52.59 por  $m^3$ , costo que no es muy elevado sin embargo no es muy justificable, ya que obtuvo los menores incrementos de resistencia y comparado con el aditivo MasterSet AC534 hay una gran diferencia entre las reducciones de tiempos de fragua iniciales y finales. Asimismo,

este aditivo no cumple con los requisitos que exige la ASTM C494 para los aditivos Tipo C.

Por otro lado, el aditivo Sika Rapid-1 al ser adicionado al 1% con respecto al peso del cemento elevó el costo por metro cúbico hasta los S/.284.34 obteniendo un incremento del 10.7%. Este aditivo eleva el costo en S/.27.58 por m<sup>3</sup> con respecto a la mezcla patrón, obteniendo el menor incremento de costos de todos los acelerantes evaluados, sin embargo, no cumplió con los requisitos impuestos por la ASTM C494. Cabe mencionar que, a pesar de no cumplir con las resistencias requeridas, obtuvo los mejores resultados para las dosis de adición del 1%, por lo que sus resultados son justificables con el alza de su costo. Asimismo, los aditivos Tipo C al ser utilizados en el concreto producen una reducción del tiempo de desencofrado, lo cual conlleva a una disminución de costos producido por un ahorro de mano de obra.

En la Figura 38 se muestra el ahorro al utilizar los diferentes aditivos Tipo C en las construcciones. El aditivo MasterSet presenta el mayor ahorro en costos a pesar de ser el más caro, esto se debe a que es el único que alcanza una resistencia de 7 y 14 días en tan solo 3 y 9 días, lo cual genera una disminución de 4 y 5 días respectivamente.

Asimismo, el ahorro puede ser mayor dependiendo de la magnitud de la obra lo cual puede generar mayores beneficios.

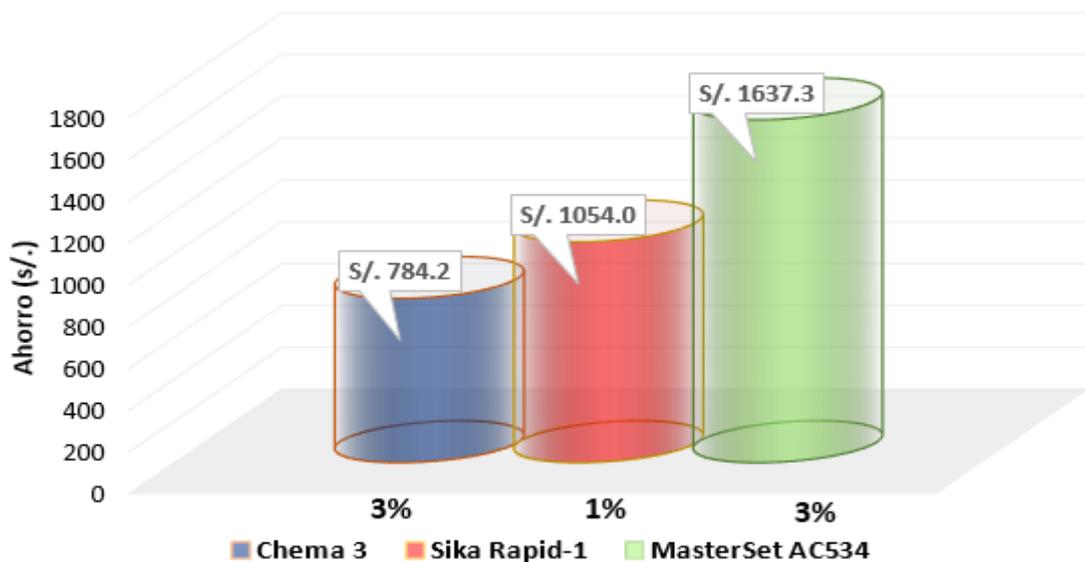


Figura 38: Ahorro de los aditivos Tipo C en las edificaciones.

Los resultados obtenidos anteriormente sirven para ver la influencia de los aditivos Tipo C, ya que para una buena elección se debe tener en cuenta la eficacia y su costo, siendo el cliente el que escogerá el aditivo dependiendo las características que requiera la construcción.

## CONCLUSIONES

- Se elaboró un diseño de mezcla de concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> con agregados de la cantera El Milagro y con cemento Portland Pacasmayo Tipo Ico basados en el método ACI 211, obteniendo una relación agua/cemento de 0.61, en proporciones de 17% de cemento, 10% de agua, 41% de grava y 32% de arena, en el cual se adicionaron acelerantes Tipo C.
- Se conoció las características de los aditivos Tipo C, los cuales se dividen en acelerantes de fragua y/o resistencias según su efecto y a base de cloruros o sin cloruros según su composición química.
- La consistencia del concreto convencional adicionando aditivos Tipo C se consideran adecuados hasta porcentajes de adición respecto al peso del cemento del 3%, ya que la mezcla tiene una consistencia entre plástica y muy plástica lo cual es adecuado para la manejabilidad del concreto. A partir del 4% la mezcla alcanza un estado fluido con lo cual puede generar problemas de exudación o segregación afectando las propiedades principales del concreto.
- La temperatura es una propiedad que a mayor adición de los aditivos Tipo C obtendrá un incremento a medida que pasa el tiempo, sin embargo, estos aditivos tendrán la mayor influencia en las primeras horas hasta finalizar la etapa del fraguado. Los aditivos acelerantes de fragua Chema 3 y MasterSet AC 534 son los que producen mayor efecto en la temperatura hasta dosis del 3% con respecto al peso del cemento, mientras que los acelerantes de resistencias Sika Rapid-1 obtienen ganancias menores, teniendo en cuenta que estos tienen un mayor efecto en dosis del 1%. El incremento máximo lo obtiene el aditivo MasterSet AC 534 alcanzando un aumento de 5.4 °C en 6 horas.
- El fraguado del concreto es la propiedad que más se ve influenciada por los aditivos Tipo C, ya que conforme se adiciona dosis de acelerantes se produce una reducción del tiempo de fragua inicial y final, obteniendo este último mayores reducciones. Los acelerantes de fragua Chema 3 y MasterSet AC 534 son los que obtienen mayores reducciones al 3%, en cambio el acelerante de resistencias Sika Rapid-1 genera reducciones mínimas al 1%. El aditivo MasterSet AC 534 es el que obtuvo mayores reducciones de fragua inicial y final las cuales fueron de 84 min y 120 min respectivamente.
- La resistencia a la compresión es incrementada al adicionar los aditivos tipo C. El máximo incremento lo obtuvo el aditivo MasterSet AC534 alcanzando un aumento del 25%, seguido del Sika Rapid-1 con un 17% y finalmente el Chema 3 con un 16% para los 3 días de curado.

De la misma forma se obtuvieron incrementos para los 7, 14 y 28 días con el mismo orden en cuanto aumento, sin embargo, a medida que aumentan los días de curado los incrementos de resistencia son menores para todas las dosis de aditivos.

- De los resultados obtenidos se determinó que, para mejorar las propiedades en estado fresco-endurecido del concreto, los porcentajes óptimos de los aditivos MasterSet AC534 es del 3%, Sika Rapid-1 del 1% y Chema 3 del 3%.
- Se verificó el cumplimiento de la NTP 339.088/ASTM C494, para la cual solo el Aditivo MasterSet AC 534 cumple con los requisitos mínimos para 3 días de curado en cuanto a Compresión y Tiempo de Fraguado en esta investigación. Asimismo, cabe mencionar que todos los aditivos evaluados en su porcentaje óptimo cumplieron con los requisitos de la NTP 339.088/ASTM C494 para 7, 14 y 28 días de curado.
- Se realizaron los ensayos de caracterización tanto para el agregado fino como grueso, con lo cual se determinaron sus propiedades físicas y químicas para un correcto diseño de mezcla.
- Se evaluó económicamente el concreto adicionado con aditivos Tipo C, para lo cual el aditivo MasterSet AC 534 tuvo el máximo ahorro de costo el cual fue de S./ 1637.3 con lo cual obtuvo el mejor beneficio en las propiedades del concreto, el aditivo Chema 3 adquirió un ahorro de S./ 784.2 con lo cual consiguió un beneficio regular y finalmente el aditivo Sika Rapid-1 logro un ahorro de costo de S./ 1054.0 obteniendo un mayor ahorro que el aditivo Chema 3.

## RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio para cada aditivo Tipo C con porcentajes de adición más específicos (1.5%,2.5%,3.5%), tomando como guía los resultados obtenidos en esta investigación.
- Desarrollar una investigación utilizando otros tipos de cemento como el Tipo I y Ms, para ver la influencia de los aditivos Tipo C en estos.
- Ver la influencia de los aditivos Tipo C para diferentes  $f'c$  de diseño y así ampliar la línea de investigación.
- Efectuar los ensayos a compresión a 56 y 90 días de curado para verificar si cumplen con los requisitos mínimos de la ASTM C494, el cual es obtener una resistencia mínima del 90% de la probeta patrón.
- Realizar el ensayo de contenido de aire y retracción por secado en el concreto bajo la Normas ASTM C231 y ASTM C157, verificando que cumpla con los requisitos de la ASTM C494.
- Se recomienda utilizar el aditivo MasterSet AC534, ya que es el único que cumplió con los requisitos de la ASTM C494 para esta investigación y a la vez presento los mejores resultados.
- Utilizar de los aditivos Tipo C en otras regiones del país para ver su efecto de estos a diferentes temperaturas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acelerantes para el concreto Tipos y Beneficios. (2015). Blog 360.
- American Concrete Institute (ACI 318). (2010). Requisitos de Reglamento para concreto estructural. Obtenido de [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI\\_318-05\\_Espanhol.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf)
- ANDINA. (6 de Junio de 2017). Crecimiento de la Construcción. Obtenido de <http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-bcr-eleva-proyeccion-crecimiento-construccion-para-2018-671307.aspx>
- Arce Manrique, S. (2009). Identificación de los principales problemas en logística de abastecimiento de las empresas constructoras. Obtenido de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/economia/tesis189.pdf>
- Asociación Nacional de fabricantes de aditivos para mortero y Hormigón (ANFAH). (2014). Aditivos para el hormigón. Obtenido de [http://www.concretonline.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=870:aditivos-definicion-y-clasificacion&catid=46:articulos&Itemid=36](http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=870:aditivos-definicion-y-clasificacion&catid=46:articulos&Itemid=36)
- Baca Pinelo, J. F., & Boy Sanchez, J. R. (2015). Influencia del porcentaje y tipo de acelerante, sobre la resistencia a la compresión en la fabricación de un concreto de rápido fraguado. Tesis, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Trujillo.
- Barboza Huemura, R. M., & Piminchumo Leyton, B. E. (2013). Los presupuestos, factores y su incidencia en los costos de producción en la ciudad de Trujillo. Trujillo.
- BASF THE CHEMICAL COMPANY. (2014). Cloruros y Aditivos. Obtenido de <http://www.ryasapanama.com/web/uploads/pdf/boletines-tecnicos/cloruros-y-aditivos.pdf>
- BASF, The Chemical Company . (2006). Aditivos.
- BBC. (2017). Obtenido de Países que crecerán en América Latina: <http://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-40826035>
- Belletich, E. (2016). La construcción. Udep (Hoy).
- Benites Espinoza, C. M. (2010). Concreto con Cemento Pórtland Puzolánico tipo IP Atlans de resistencias tempranas con la tecnología SIKA VISCOCRETE 20HE. Tesis, Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Bocanegra, H. (2016). Prevención en el uso de aditivos. Obtenido de <http://es.scribd.com/document/338293818/ADITIVOS-DE-CONCRETO>
- Campos Sanchez, E. (2015). Aditivos en el Perú. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/75780177/ADITIVOS-EN-EL-PERU-GRUPO-N%C2%BA-4>

-Carrasco , F. (2013). Tecnología del Hormigón. Universidad Tecnológica Nacional. Obtenido de <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%206%20-%20PROPIEDADES%20DE%20LA%20MEZCLA%20FRESCA%20DE%20HORMIGON.pdf>

-Carrasco, F. (2013). Tecnología del Hormigón. Obtenido de <http://www.fceia.unr.edu.ar/~fermar/Apuntes%20Tecnolog%C3%ADa%20del%20Hormig%C3%B3n%20UTN%20FRSF/Unidad%203%20-%20ROCAS%20Y%20AGREGADOS%20PARA%20HORMIGONES.pdf>

-Castellón Corrales, H., & De la Ossa Arias, K. (2013). Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cemento Tipo I y III, modificados con aditivos acelerantes y retardantes. Tesis, Universidad de Cartagena, Cartagena.

-Castro Pacheco, J. A., & Vera Castillo, M. J. (2017). Influencia de las características de los agregados del sector el Milagro- Huanchaco en un diseño de mezcla de concreto, Trujillo 2017. Trujillo. Obtenido de <file:///C:/Users/diana/Downloads/Castro%20Pacheco%20Jose%20Abel%20-%20Vera%20Castillo%20Milary%20Jazmin.pdf>

-CEMENTOS PACASMAYO. (2015). Concreto convencional. pág. 4. Obtenido de <http://www.cementospacasmayo.com.pe/productos-y-servicios/concreto-premezclado/concretos-convencionales/>

-CEMEX. (2014). Normatividad del concreto en Colombia. Obtenido de <http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/NormatividadConcreto.aspx>

-COMITE ACI 222. (2015). Acelerantes para el concreto tipos y beneficios. Obtenido de <http://blog.360gradosenconcreto.com/acelerantes-para-el-concreto-tipos-y-beneficios/>

-Dávila Pablo, M. C., & Fabian Santiváñez, C. J. (2013). Estudio experimental de la influencia del tiempo de desencofrado en el comportamiento de elementos estructurales en edificios de ductilidad limitada. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5286/DAVILA\\_MILAGROS\\_ESTUDIO\\_EXPERIMENTAL\\_TIEMPO\\_DESENCOFRADO\\_COMPORTEMENTO\\_ESTRUCTURALES\\_EDIFICIOS\\_DUCTILIDAD\\_LIMITADA.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/5286/DAVILA_MILAGROS_ESTUDIO_EXPERIMENTAL_TIEMPO_DESENCOFRADO_COMPORTEMENTO_ESTRUCTURALES_EDIFICIOS_DUCTILIDAD_LIMITADA.pdf?sequence=1)

-Díaz Lozano, J. (2010). Criterios técnicos para el descimbrado de estructuras de hormigón. Tesis, Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de [http://oa.upm.es/1002/1/JUSTO\\_DIAZ\\_LOZANO.pdf](http://oa.upm.es/1002/1/JUSTO_DIAZ_LOZANO.pdf)

-El Comercio. (2017). Obtenido de Sector construcción podría crecer 9% para el 2018: <https://elcomercio.pe/economia/peru/bcp-sector-construccion-crecer-9-2018-noticia-478430>

-Garay Pichardo, L. Y., & Quispe Cotrina, C. E. (2016). Estudio del concreto elaborado en vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejorar mediante el empleo de aditivo superplastificante. Tesis, Lima. Obtenido de [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/7625/GARAY\\_LISANDRA\\_CONCRETO\\_VACIADOS\\_TECHEO\\_SUPERPLASTIFICANTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/7625/GARAY_LISANDRA_CONCRETO_VACIADOS_TECHEO_SUPERPLASTIFICANTE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

-Gómez Domínguez, J. (2014). Materiales de Construcción.

- Gómez, C. (2016). Aditivos para el concreto. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/338293818/ADITIVOS-DE-CONCRETO>
- Gutiérrez López, L. (2010). El concreto y otros materiales para la construcción. pág. 98.
- Huañapi Peralta, C. (2015). Principales propiedades del concreto Fresco.
- Humaní Mena, E. (2016). Peso específico. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/327145882/ENSAYO-DE-PESO-UNITARIO-DE-AGREGADOS-PESO-ESPECIFICO-Y-ABSORCION>
- Instituto de la Construcción y Gerencia. (2015).
- Instituto Mexicano del Concreto y del Cemento. (2008). Tiempo de Fraguado de Mezclas de Concreto.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2017). Obtenido de <http://www.inei.gob.pe/>
- La República. (2017). Construcciones de puentes. Obtenido de <http://larepublica.pe/sociedad/307023-puente-trujillo-vaciaran-4-mil-toneladas-de-concreta-para-la-base-de-construccion>
- Laura Huanca, S. . (2006). Diseño de Mezclas de concreto. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). (Octubre de 2017). Obtenido de Avance Físico de Obras: <http://andina.pe/agencia/noticia-mef-avance-fisico-obras-habria-crecido-413-octubre-688351.aspx>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (Octubre de 2017). Obtenido de [http://www3.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica/62\\_PBI-CONSTRUCCION.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica/62_PBI-CONSTRUCCION.pdf)
- Neville, A. (2010). Tecnología del Concreto.
- Norma E.060. (2014). Obtenido de [http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/54%20E.060%20CONCRETO%20ARMADO%20DS%20N%C2%B0%20010-2009%20\(1\).pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/dgprvu/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/54%20E.060%20CONCRETO%20ARMADO%20DS%20N%C2%B0%20010-2009%20(1).pdf)
- Ocampo Herrera, L. C., & Macías Pedreros, F. A. (2015). Estudio de la influencia del aditivo Better mix en estado fresco, semiendurecido y endurecido del concreto estructural. Tesis, Bogotá.
- Pasquel, E. (2016). Mejorando las capacidades de la mezcla. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/338293818/ADITIVOS-DE-CONCRETO>
- Polanco Rodríguez, A. (2012). Manual de prácticas de laboratorio de concreto. Obtenido de [http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL\\_LAB\\_DE\\_CONCRETO.pdf](http://fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf)

- Ponce Córdova, E. S. (2016). Estudio comparativo del efecto de aditivos Chema y Sika aceleradores de Fragua en la ciudad del Cusco en concretos expuestos a climas alto andinos. Tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- Riva Lopez, E. (2013). Tecnología del Concreto.
- Rivera L., G. A. (2013). Concreto Simple.
- Ruiz Panduro, L. N. (2008). Características del concreto fresco y endurecido fabricado en la ciudad de Arequipa utilizando cemento IP y aditivo incorporador de aire y acelerante de Fraguado. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4212/1/ruiz\\_pl.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4212/1/ruiz_pl.pdf)
- Saez, E. (12 de Diciembre de 2016). Panorama mundial de la construcción. Construcción Pan-America.
- Salazar Ríos, C. C., & Triana Alucena, A. F. (2016). Influencia de la dosis de un tipo de acelerante en el módulo de elasticidad estático del concreto simple a edades tempranas. Tesis, Universidad de la Salle, Bogotá.
- Sanchez Muñoz, F. L., & Tapia Medina, R. D. (2015). Relación de la Resistencia a a compresion de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14,28 y 56 días respecto a la resistencia a compresión de cilindros de concreto a 28 días. Tesis, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- SIKA. (2012). Sika Perú Obras de Referencia. Obtenido de <http://docplayer.es/21614849-Sika-peru-obras-de-referencia-2012.html>
- SIKA. (Septiembre de 2014). Obtenido de <file:///C:/Users/diana/Desktop/tesis/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO.pdf>
- SIKA. (12 de Octubre de 2016). Construyendo con SIKA. Obtenido de <file:///C:/Users/Adm/Downloads/Construyendo%20con%20Sika%2012.pdf>
- SUNASS(Superintendencia nacional de servicios de saneamiento). (2014). Límites del agua potable. Obtenido de <http://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/legisla%20web%28cambio%29/normas/calidad%20de%20agua/Oficio%20677.pdf>
- Tengan Shimabukuro, C. A. (2011). Análisis comparativo de aditivos acelerantes de fragua libres de alcalis para concreto proyectado o shotcrete. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Toledo, M. (2013). Peso Específico y Absorción del Agregado Fino. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/151512704/Peso-Especifico-y-Absorcion-del-Agregado-Fino>
- Torres Alayo, J. C. (2004). Estudio de la influencia de aditivos acelerantes sobre las propiedades del concreto. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Torres Trigoso, J. F. (2013). Evaluación de la resistencia a la compresión con aditivo Sika Rapid-1.

- Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- UNAM. (2014). Pruebas de resistencia acelerada del concreto. 8.
- Union Andina de Cementos (UNACEM). (2016). Tabla de dosificaciones y equivalencias. Obtenido de <http://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2014/12/TbIDOSIF.pdf>
- Unión de Concreteras (UNICON). (2013). Concreto Convencional. pág. 6.
- Vásquez Díaz, A. (2015). Aditivos para el concreto. Sika Building Trush, pág. 28. Obtenido de [http://www.cip-trujillo.org/img\\_eventos/pdf/2015/CONFERENCIAS%20SIKA/EI%20concreto%20de%20hoy%20A VD.pdf](http://www.cip-trujillo.org/img_eventos/pdf/2015/CONFERENCIAS%20SIKA/EI%20concreto%20de%20hoy%20A VD.pdf)
- Vilca Chunga, J., Castillo Lujan, F., Dominguez Roldan, J., & Linares Cueva, E. (2012). Planeamiento estratégico del sector construcción del departamento la libertad.
- Vivar, G., Gusukuma, G., & Chávez, S. (2016). Aditivos para el concreto.
- Yzquierdo Villanueva, J. (2015). Estudio de la influencia del aditivo Chema Estruct en la resistencia a la compresión del concreto con cemento pacasmayo y cemento Inka. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Obtenido de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/641/T%20666.893%20Y91%202015.pdf?sequence=1>
- Zamora, B., & Hurtado, S. (2012). Comportamiento del concreto expuesto a agentes contaminantes. Universidad Autónoma de Sinaloa. Obtenido de [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5203/to-59\\_fjoc.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/5203/to-59_fjoc.pdf)

## APÉNDICE

### APÉNDICE 1: Verificación de la contrastación de hipótesis

Los datos de varianza, desviación estándar o coeficiente de variación se incluirán en el Apéndice 2 para verificar si cumplen con los parámetros máximos que exigen las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

#### En estado endurecido:

Los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado endurecido se analizarán para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza y prueba de F de Fisher.

Además, se trabaja con un valor de confiabilidad del 95 %, lo cual genera un error de 0.05 valor el cual es la probabilidad de rechazar incorrectamente una hipótesis cuando es verdadera, debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales.

#### **Grados de Libertad:**

- Grados de libertad de la variable %de adición de los aditivos Tipo C (A)  
G.L. =  $6 - 1 = 5$
- Grados de libertad de la variable marcas de aditivo tipo C (B):  
G.L. =  $3 - 1 = 2$
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)  
G.L. =  $(6 - 1) \times (3 - 1) = 10$
- Grados de libertad del error.  
G.L. =  $(6 \times 3) \times (3 - 1) = 36$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas.

- **Resistencia a la compresión**

Se realizó los cálculos correspondientes del análisis F de Fisher para la verificación de la contrastación de hipótesis para los días evaluados a compresión.

*Tabla 68: Contrastación de hipótesis para compresión*

Tiempo	Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico para F
3 días	% de Aditivo	5	1415.26	283.05	146.97	2.48
	Marca de aditivo	2	1034.26	517.13	268.51	3.26
	Interacción	10	1164.85	116.49	60.48	2.11
	Error	36	69.33	1.93	--	--
	Total	53	3683.70	--	--	--
7 días	% de Aditivo	5	1155.72	231.14	93.85	2.48
	Marca de aditivo	2	1511.44	755.72	306.83	3.26
	Interacción	10	769.00	76.90	31.22	2.11
	Error	36	88.67	2.46	--	--
	Total	53	3524.83	--	--	--
14 días	% de Aditivo	5	697.43	139.49	97.82	2.48
	Marca de aditivo	2	272.93	136.46	95.70	3.26
	Interacción	10	556.41	55.64	39.02	2.11
	Error	36	51.33	1.43	--	--
	Total	53	1578.09	--	--	--
28 días	% de Aditivo	5	334.09	66.82	39.65	2.48
	Marca de aditivo	2	446.70	223.35	132.54	3.26
	Interacción	10	184.41	18.44	10.94	2.11
	Error	36	60.67	1.69	--	--
	Total	53	1025.87	--	--	--

**En estado fresco:**

Los resultados obtenidos de los ensayos al concreto en estado fresco se analizarán para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza y prueba de F de Fisher.

Además, se trabaja con un valor de confiabilidad del 95 %, lo cual genera un error de 0.05 valor el cual es la probabilidad de rechazar incorrectamente una hipótesis cuando es verdadera, debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales.

**Grados de Libertad:**

- Grados de libertad de la variable %de adición de los aditivos Tipo C (A)  
G.L. = 6 – 1 = 5
- Grados de libertad de la variable marcas de aditivo tipo C (B):  
G.L. = 3 – 1 = 2

- Grados de libertad de las variables (A) x (B)

$$G.L. = (6 - 1) \times (3 - 1) = 10$$

- Grados de libertad del error.

$$G.L. = (6 \times 3) \times (3 - 1) = 36$$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas.

- **Tiempo de Fraguado:**

Se realizó el análisis F de Fisher para los tiempos de fraguado evaluados en la presente investigación.

*Tabla 69: Contrastación de hipótesis para el fraguado*

Fraguado	Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico para F
Inicial	% de Aditivo	5	2987.43	597.49	210.88	2.48
	Marca de aditivo	2	33674.04	16837.02	5942.48	3.26
	Interacción	10	3607.30	360.73	127.32	2.11
	Error	36	102.00	2.83	--	--
	Total	53	40370.76	--	--	--
Final	% de Aditivo	5	4493.28	898.66	364.87	2.48
	Marca de aditivo	2	50840.11	25420.06	10320.92	3.26
	Interacción	10	4240.78	424.08	172.18	2.11
	Error	36	88.67	2.46	--	--
	Total	53	59662.83	--	--	--

- **Consistencia:**

Se realizó el análisis F de Fisher para los tiempos de fraguado evaluados en la presente investigación.

*Tabla 70: Contrastación de hipótesis para la consistencia o trabajabilidad*

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	F	Valor crítico para F
% de Aditivo	5	573.63	114.73	538.72	2.48
Marca de aditivo	2	3.34	1.67	7.85	3.26
Interacción	10	2.14	1.13	4.35	2.11
Error	36	7.67	0.21	--	--
Total	53	586.78	--	--	--

## APÉNDICE 2: Caracterización de agregados

### Ensayo de Granulometría:

Tabla 71: Ensayo granulométrico del agregado fino.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
N° 1/2"	12.5	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 3/8"	9.5	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 4	4.75	32	3.2	3.2	97	29	2.9	2.9	97	31	3.1	3.1	97
N° 8	2.36	112	11.2	14.4	86	124	12.4	15.3	85	120	12.0	15.1	85
N° 16	1.18	132	13.2	27.6	72	137	13.7	29	71	139	13.9	29.0	71
N° 30	0.60	188	18.8	46.4	54	159	15.9	44.9	55	160	16.0	45.0	55
N° 50	0.30	293	29.3	75.7	24	277	27.7	72.6	27	283	28.3	73.3	27
N° 100	0.15	214	21.4	97.1	3	244	24.4	97.0	3	242	24.2	97.5	3
N° 200	0.075	21	2.1	99.2	1	24	2.4	99.4	1	20	2.0	99.5	1
Fondo	--	8	0.8	100	0	6	0.6	100	0	5	0.5	100	0
Sumatoria		1000	100			1000	100			1000	100		

Tabla 72: Ensayo granulométrico del agregado grueso.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido Acum. (%)	Porcentaje Que Pasa (%)
N° 2"	50.80	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 1 1/2"	38.10	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 1"	25.40	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 3/4"	19.05	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N° 1/2"	12.70	176	8.8	8.8	91	191	9.6	9.6	90	189	9.5	9.5	91
N° 3/8"	9.50	834	41.7	50.5	50	874	43.7	53.3	47	877	43.9	53.3	47
N° 4	4.75	730	36.5	87.0	13	724	36.2	89.5	11	700	35.0	88.3	12
N° 8	2.36	256	12.8	99.8	0	206	10.3	99.8	0	230	11.5	99.8	0
Fondo	0.00	4	0.2	100	0	5	0.2	100	0	4	0.2	100	0
Sumatoria		2000	100			2000	100			2000	100		

Tabla 73: Medidas estadísticas para granulometría del agregado fino.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Promedio de Porcentaje Que Pasa (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)	Desviación Estándar (%) ASTM C136	Rango para tres valores (%) ASTM C136	Límite Superior ASTM C136 (%)	Límite Inferior ASTM C136 (%)
N°1/2"	12.5	100	0.0	0.0	0	0	100	100
N° 3/8"	9.5	100	0.0	0.0	0	0	100	100
N° 4	4.75	97	0.0	0.2	0.3	0.7	100	95
N° 8	2.36	85	0.2	0.5	0.6	1.6	100	80
N° 16	1.18	71	0.7	0.8	0.6	1.6	85	50
N° 30	0.60	55	0.7	0.8	0.8	2.4	60	25
N° 50	0.30	26	2.6	1.6	0.8	2.4	30	5
N° 100	0.15	3	0.1	0.3	0.4	1.1	10	0
N° 200	0.08	1	0.0	0.2	0.1	0.4	5	0
Fondo	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 74: Medidas estadísticas para granulometría del agregado grueso.

N° Tamiz	Abertura (mm)	Promedio de Porcentaje Que Pasa (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)	Desviación Estándar (%) ASTM C136	Rango para tres valores (%) ASTM C136	Límite Superior ASTM C136 (%)	Límite Inferior ASTM C136 (%)
N° 1 1/2"	38.10	100	0.0	0.0	0	0	100	100
N° 1"	25.40	100	0.0	0.0	0	0	100	100
N° 3/4"	19.05	100	0.0	0.0	0	0	100	100
N° 1/2"	12.70	90.73	0.2	0.4	0.3	0.9	100	90
N° 3/8"	9.50	47.65	2.6	1.6	1.3	3.7	70	40
N° 4	4.75	11.75	1.5	1.2	1.0	2.8	15	0
N° 8	2.36	0.22	0.0	0.0	0.3	0.8	5	0
Fondo	0.00	0	0	0	0	0	0	0

**Peso Suelto y Compactado:**

Tabla 75: Volumen del molde para peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Material	Número	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Agua (Kg)	Peso del Agua (Kg)	Factor del Agua (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )
Volumen del Agua	E1	5.314	19.41	14.096	997.5	0.01413
	E2	5.314	19.402	14.088	997.5	0.01412
	E3	5.314	19.386	14.072	997.5	0.01411
<b>Promedio</b>						<b>0.01412</b>

Tabla 76: Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Material	Número	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Muestra Suelta (Kg)	Peso del Molde + Muestra Compactada (Kg)	Peso de la Muestra Suelta (Kg)	Peso de la Muestra Compactada (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )
Agregado Fino	E1	5.314	28.501	30.844	23.187	25.530	0.01412	1642	1808
	E2	5.314	28.476	30.776	23.162	25.592		1640	1812
	E3	5.314	28.453	30.858	23.139	25.544		1639	1809
<b>Promedio</b>								<b>1640</b>	<b>1810</b>
Material	Número	Peso del Molde (Kg)	Peso del Molde + Muestra Suelta (Kg)	Peso del Molde + Muestra Compactada (Kg)	Peso de la Muestra Suelta (Kg)	Peso de la Muestra Compactada (Kg)	Volumen del Molde (m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )
Agregado Grueso	E1	5.314	26.288	28.077	20.974	22.763	0.01412	1485	1612
	E2	5.314	26.322	28.084	21.008	22.770		1488	1613
	E3	5.314	26.224	27.983	20.910	22.669		1481	1605
<b>Promedio</b>								<b>1490</b>	<b>1610</b>

Tabla 77: Medidas estadísticas para peso unitario suelto y compactado de los agregados.

Ensayos	Agregados	Peso Unitario Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )	Varianza	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C29	Rango para tres valores (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C29
Peso Unitario Suelto	Agregado Fino	1640	2	2	14	46
	Agregado Grueso	1490	12	4		
Peso Unitario Compactado	Agregado Fino	1810	4	2	14	46
	Agregado Grueso	1610	19	4		

**Peso Específico:**

*Tabla 78: Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.*

Material	Número	Peso de la Muestra Seca al Horno (gr) "A"	Peso de Fiola + agua (gr) "B"	Peso de Fiola + agua + Muestra (gr) "C"	Peso de la Muestra Saturada (gr) "D"	% Absorción	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad (S.S.S) (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
Agregado Fino	E1	487.31	669.94	971.31	500	2.60	2.45	2.52	2.62
	E2	488.12	668.92	969.14	500	2.43	2.44	2.51	2.60
	E3	487.85	666.860	968.81	500	2.49	2.46	2.52	2.62
<b>Promedio</b>						<b>2.51</b>	<b>2.45</b>	<b>2.52</b>	<b>2.61</b>

*Tabla 79: Medidas estadísticas para peso específico y absorción del agregado fino.*

Ensayos	Resultados Promedio	Varianza	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C128	Rango para tres valores (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C128
Densidad (S) (Kg/m <sup>3</sup> )	2450	100	10	9.5	31
Densidad (S.S.S) (Kg/m <sup>3</sup> )	2520	124	11	9.5	31
Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2610	207	14	9.5	31
Absorción (%)	2.51	0.01	0.09	0.11	0.36

Tabla 80: Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

Material	Número	Peso de la Muestra Seca al Horno (gr) "A"	Peso de la Muestra Saturada con superficie Seca (gr) "B"	Peso de la Muestra Sumergida en Agua (gr) "C"	% Absorción	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Saturada Superficialmente Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
Agregado Grueso	E1	2133	2169	1318	1.69	2.51	2.55	2.62
	E2	2127	2163	1315	1.69	2.51	2.55	2.62
	E3	2131	2166	1316	1.64	2.51	2.55	2.62
<b>Promedio</b>					<b>1.67</b>	<b>2.52</b>	<b>2.56</b>	<b>2.62</b>

Tabla 81: Medidas estadísticas para peso específico y absorción del agregado grueso.

Ensayos	Resultados Promedio	Varianza	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> )	Desviación Estándar (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C127	Rango para tres valores (Kg/m <sup>3</sup> ) ASTM C127
Densidad (S) (Kg/m <sup>3</sup> )	2520	1	1	7	23
Densidad (S.S.S) (Kg/m <sup>3</sup> )	2560	4	2	7	23
Densidad Aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	2620	4	2	7	23
Absorción (%)	2.67	0.00	0.03	--	--

**Contenido de Humedad:**

*Tabla 82: Ensayo de contenido de humedad de los agregados.*

Material	Número	Peso de la Tara (gr)	Peso de la Tara + Muestra Natural (gr)	Peso de la Tara + Muestra Seca (gr)	Peso de la Muestra Natural (gr) "Ph"	Peso de la Muestra Seca (gr) "Ps"	Humedad (%) "W"
Agregado Fino	E1	162.41	1162.41	1152.28	1000.00	989.87	1.02
	E2	163.45	1163.45	1153.68	1000.00	990.23	0.99
	E3	162.26	1162.270	1152.37	1000.01	990.11	1.00
<b>Promedio</b>							<b>1.00</b>
Material	Número	Peso de la Tara (gr)	Peso de la Tara + Muestra Natural (gr)	Peso de la Tara + Muestra Seca (gr)	Peso de la Muestra Natural (gr) "Ph"	Peso de la Muestra Seca (gr) "Ps"	Humedad (%) "W"
Agregado Grueso	E1	163.40	2163.40	2148.03	2000.00	1984.63	0.77
	E2	162.26	2162.27	2145.75	2000.01	1983.49	0.83
	E3	162.41	2162.24	2146.11	1999.83	1983.70	0.81
<b>Promedio</b>							<b>0.80</b>

*Tabla 83: Medidas estadísticas para el contenido de humedad de los Agregados.*

Agregados	Contenido de Humedad Promedio (%)	Varianza	Desviación Estándar (%)	Desviación Estándar (%) ASTM C566	Rango para tres valores (%) ASTM C566
Agregado Fino	1	0.00	0.02	0.28	0.92
Agregado Grueso	0.8	0.00	0.03		

### APENDICE 3: Resultado de los ensayos en estado fresco y endurecido.

#### Ensayo de Asentamiento:

Tabla 84: Ensayo de asentamiento.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg.)	Asentamiento Promedio (cm)	Asentamiento Promedio (pulg.)
CHEMA 3	0%	P-1	11.5	4 1/2	11.3	4 1/2
		P-2	11.5	4 1/2		
		P-3	11	4 1/4		
	1%	C1-1	13	5 1/4	12.5	5
		C1-2	12.5	5		
		C1-3	12	4 3/4		
	2%	C2-1	13.5	5 1/4	13.8	5 1/2
		C2-2	14	5 1/2		
		C2-3	14	5 1/2		
	3%	C3-1	16	6 1/4	15.7	6 1/4
		C3-2	16	6 1/4		
		C3-3	15	6		
	4%	C4-1	17	6 3/4	17.7	7
		C4-2	18	7		
		C4-3	18	7		
	5%	C5-1	21	8 1/4	20.2	8
		C5-2	20	8		
		C5-3	19.5	7 3/4		
6%	C6-1	22	8 3/4	21.8	8 3/4	
	C6-2	22	8 3/4			
	C6-3	21.5	8 1/2			
SIKA RAPID-1	0%	P-1	11.5	4 1/2	11.3	4 1/2
		P-2	11.5	4 1/2		
		P-3	11	4 1/4		
	1%	S1-1	12	4 3/4	12.2	4 3/4
		S1-2	12	4 3/4		
		S1-3	12.5	5		
	2%	S2-1	13.5	5 1/4	13.7	5 1/4
		S2-2	13.5	5 1/4		
		S2-3	14	5 1/2		
	3%	S3-1	15.5	6	15.3	6
		S3-2	16	6 1/4		
		S3-3	14.5	5 3/4		
	4%	S4-1	17.5	7	17.2	6 3/4
		S4-2	17	6 3/4		
		S4-3	17	6 3/4		

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg.)	Asentamiento Promedio (cm)	Asentamiento Promedio (pulg.)
	5%	S5-1	19	7 1/2	19.3	7 3/4
		S5-2	19.5	7 3/4		
		S5-3	19.5	7 3/4		
	6%	S6-1	21	8 1/4	21.3	8 1/2
		S6-2	21.5	8 1/2		
		S6-3	21.5	8 1/2		
MASTERSET AC 534	0%	P-1	11.5	4 1/2	11.3	4 1/2
		P-2	11.5	4 1/2		
		P-3	11	4 1/4		
	1%	B1-1	11.5	4 1/2	11.8	4 3/4
		B1-2	12	4 3/4		
		B1-3	12	4 3/4		
	2%	B2-1	13	5	13.5	5 1/4
		B2-2	13.5	5 1/4		
		B2-3	14	5 1/2		
	3%	B3-1	14.5	5 3/4	15.0	6
		B3-2	15	6		
		B3-3	15.5	6 1/4		
	4%	B4-1	17.5	7	17.0	6 3/4
		B4-2	17	6 3/4		
		B4-3	16.5	6 1/2		
	5%	B5-1	19.5	7 3/4	19.5	7 3/4
		B5-2	19	7 1/2		
		B5-3	20	8		
	6%	B6-1	21.5	8 1/2	21.3	8 1/2
		B6-2	21	8 1/4		
		B6-3	21.5	8 1/2		

**Ensayo de Temperatura:**

Tabla 85: Ensayo de temperatura.

Marca de Acelerante	% de Adición	Temperatura (°C)																		
		0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min	240 min	270 min	300 min	330 min	360 min	390 min	420 min	450 min	480 min	510 min	
CHEMA 3	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3	
		20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3	
		20.8	20.8	20.9	20.9	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.6	22.8	23.0	23.2	23.3	23.3	
	1%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.0	24.2	24.4	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	24.4	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5	22.8	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.2	24.4	
	2%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.8	22.2	22.5	22.8	23.0	23.2	23.5	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6	
		20.8	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.8	22.2	22.5	22.8	23.0	23.2	23.5	23.8	24.0	24.2	24.4	24.6	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.2	23.5	23.8	24.0	24.2	24.5	24.7	
	3%	20.9	21.0	21.3	21.5	21.7	22.0	22.4	22.7	23.0	23.4	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	24.9	24.9	--	
		20.9	21.0	21.3	21.5	21.7	22.0	22.4	22.7	23.0	23.4	23.6	23.9	24.2	24.4	24.6	24.8	24.9	--	
		20.9	21.1	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.8	23.0	23.4	23.7	23.9	24.2	24.5	24.7	24.9	25.0	--	
	4%	20.9	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.2	24.4	24.6	--	
		20.9	21.1	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.2	24.4	24.6	--	
		20.9	21.0	21.2	21.3	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.2	23.4	23.6	23.9	24.2	24.4	24.5	--	
	5%	20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.5	22.8	23.1	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	--	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	22.0	22.2	22.4	22.7	23.1	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	--	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22.0	22.3	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	--	
	6%	20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	23.9	24.1	24.2	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.4	21.6	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.1	24.2	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5	22.8	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.2	24.2	
	SIKA RAPID-1	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
			20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
			20.8	20.8	20.9	20.9	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.6	22.8	23.0	23.2	23.3	23.3
1%		20.9	21.0	21.2	21.4	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.1	23.4	23.7	24.0	24.3	24.5	24.7	24.8	--	
		20.9	21.0	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.8	23.1	23.4	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	24.9	--	
		20.9	21.1	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	23.1	23.4	23.7	24.0	24.3	24.5	24.7	24.8	--	
2%		21.0	21.1	21.2	21.4	21.6	21.7	22.0	22.3	22.7	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.2	24.4	24.6	--	
		20.9	21.0	21.2	21.4	21.5	21.8	22.1	22.4	22.8	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.2	24.4	24.6	--	
		20.9	21.1	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.2	23.5	23.8	24.1	24.3	24.4	24.6	--	
3%		20.9	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.9	22.2	22.5	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.1	24.3	24.6	24.8	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.5	21.6	21.9	22.2	22.5	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.1	24.3	24.6	24.8	
		20.9	20.9	21.2	21.4	21.5	21.7	21.9	22.2	22.6	22.9	23.1	23.3	23.6	23.9	24.0	24.3	24.6	24.8	
4%		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.7	22.0	22.3	22.4	22.7	23.0	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	24.4	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22.0	22.2	22.5	22.7	23.1	23.3	23.5	23.7	24.1	24.2	24.4	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.4	21.6	21.8	22.0	22.3	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	24.4	
5%		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.8	24.0	24.2	24.3	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.5	22.8	23.0	23.3	23.5	23.8	24.1	24.1	24.3	
		20.9	20.9	21.1	21.3	21.3	21.4	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	23.0	23.2	23.4	23.7	24.0	24.1	24.4	
6%		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.4	23.6	23.8	24.0	24.2	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.9	23.1	23.3	23.6	23.8	24.0	24.2	
		20.9	20.9	21.1	21.2	21.3	21.4	21.6	21.8	22.1	22.3	22.6	22.9	23.1	23.3	23.5	23.8	24.0	24.2	

Tipo de Acelerante	% de Adición	Temperatura (°C)																	
		0 min	30 min	60 min	90 min	120 min	150 min	180 min	210 min	240 min	270 min	300 min	330 min	360 min	390 min	420 min	450 min	480 min	510 min
MASTERSET AC 534	0%	20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
		20.9	20.9	20.9	21.0	21.1	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.2	22.4	22.7	22.9	23.1	23.2	23.3	23.3
		20.8	20.8	20.9	20.9	21.0	21.2	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.6	22.8	23.0	23.2	23.3	23.3
	1%	20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0	22.3	22.7	23.1	23.6	24.1	24.4	24.7	24.9	25.0	25.1	--	--
		20.9	21.1	21.3	21.5	21.7	22.0	22.3	22.7	23.1	23.6	24.1	24.4	24.7	24.8	25.0	25.1	--	--
		20.9	21.2	21.4	21.6	21.8	22.1	22.4	22.8	23.2	23.6	24.1	24.4	24.7	24.8	25.0	25.1	--	--
	2%	21.0	21.3	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.4	23.7	24.2	24.7	25.1	25.4	25.6	--	--	--
		21.0	21.3	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.3	23.7	24.2	24.7	25.1	25.4	25.6	--	--	--
		20.9	21.2	21.5	21.9	22.2	22.5	22.7	23.0	23.3	23.6	24.1	24.7	25.0	25.3	25.5	--	--	--
	3%	21.2	21.5	21.9	22.4	22.9	23.3	23.6	23.9	24.4	25.1	25.6	26.1	26.6	26.9	--	--	--	--
		21.2	21.5	21.9	22.4	22.9	23.3	23.6	23.9	24.4	25.1	25.6	26.1	26.6	26.9	--	--	--	--
		21.1	21.4	21.8	22.3	22.8	23.3	23.6	23.9	24.4	25.0	25.5	26.0	26.5	26.8	--	--	--	--
	4%	21.2	21.5	21.9	22.3	22.6	23.0	23.4	23.6	24.0	24.6	25.1	25.5	25.9	26.1	26.3	--	--	--
		21.2	21.4	21.8	22.2	22.6	23.0	23.4	23.6	24.0	24.6	25.1	25.5	25.9	26.1	26.3	--	--	--
		21.1	21.5	21.8	22.3	22.6	23.0	23.4	23.6	24.0	24.6	25.1	25.5	25.8	26.0	26.2	--	--	--
	5%	21.1	21.4	21.7	22.1	22.4	22.6	22.8	23.1	23.4	23.7	24.2	24.7	25.1	25.4	25.5	--	--	--
		21.2	21.4	21.7	22.1	22.4	22.6	22.8	23.1	23.4	23.7	24.1	24.6	25.0	25.3	25.5	--	--	--
		21.2	21.4	21.7	22.0	22.3	22.6	22.8	23.1	23.3	23.6	24.1	24.7	25.0	25.3	25.5	--	--	--
	6%	21.2	21.4	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.5	24.9	25.2	25.3	--	--	--
		21.2	21.4	21.6	22.0	22.3	22.5	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.5	24.9	25.2	25.3	--	--	--
		21.2	21.4	21.6	22.0	22.3	22.5	22.8	23.1	23.4	23.7	24	24.6	25.0	25.2	25.4	--	--	--

**Ensayo de Tiempo de Fraguado:**

*Tabla 86: Ensayo de tiempo de fraguado.*

Penetraciones	Carga Aplicada-M1 (lb)	Carga Aplicada-M2 (lb)	Carga Aplicada-M3 (lb)	Carga Aplicada Promedio (lb)	Área de contacto (pulg <sup>2</sup> .)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>Muestra Patrón (0%)</b>							
N°1	34	32	36	34	1	230	34
N°2	76	74	80	77	1/2	300	154
N°3	138	134	142	138	1/2	330	276
N°4	124	122	127	124	1/4	360	496
N°5	81.5	80	84	82	1/10	390	820
N°6	130	128	136	131	1/10	420	1310
N°7	91	90	94	92	1/20	450	1840
N°8	140	136	145	140	1/20	480	2800
N°9	92	90	95	92	1/40	510	3680
N°10	106	103	107	105	1/40	525	4200
<b>Chema al 1%</b>							
N°1	41	42	42	42	1	240	42
N°2	42	44	42	43	1/2	270	86
N°3	56	58	59	58	1/2	300	116
N°4	72	75	73	73	1/4	330	292
N°5	55	58	58	57	1/10	360	570
N°6	89	93	88	90	1/10	390	900
N°7	69	73	72	71	1/20	420	1420
N°8	116	120	119	118	1/20	450	2360
N°9	80	84	82	82	1/40	480	3280
N°10	107	110	108	108	1/40	510	4320
<b>Chema al 2%</b>							
N°1	19	20	22	20	1	210	20
N°2	44	45	46	45	1/2	270	90
N°3	49	51	53	51	1/4	300	204
N°4	77	79	80	79	1/4	330	316
N°5	62	65	65	64	1/10	360	640
N°6	101	105	107	104	1/10	390	1040
N°7	75	77	79	77	1/20	420	1540
N°8	124	127	129	127	1/20	450	2540
N°9	88	90	92	90	1/40	480	3600
N°10	120	123	126	123	1/40	510	4920
<b>Chema al 3%</b>							
N°1	34	35	34	34	1	210	34
N°2	56	58	62	59	1/2	270	118
N°3	65	68	69	67	1/4	300	268
N°4	102	104	117	108	1/4	330	432
N°5	83	86	83	84	1/10	360	840
N°6	132	136	140	136	1/10	390	1360
N°7	121	119	118	119	1/20	420	2380
N°8	85	87	91	88	1/40	450	3520
N°9	99	101	106	102	1/40	465	4080
N°10	104	106	110	107	1/40	470	4280

Penetraciones	Carga Aplicada-M1 (lb)	Carga Aplicada-M2 (lb)	Carga Aplicada-M3 (lb)	Carga Aplicada Promedio (lb)	Área de contacto (pulg <sup>2</sup> .)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>Chema al 4%</b>							
N°1	38	39	38	38	1	240	38
N°2	45	46	49	47	1/2	270	94
N°3	54	58	58	57	1/4	300	228
N°4	91	94	91	92	1/4	330	368
N°5	70	72	74	72	1/10	360	720
N°6	116	119	119	118	1/10	390	1180
N°7	94	95	98	96	1/20	420	1920
N°8	135	139	141	138	1/20	450	2760
N°9	98	100	101	100	1/40	480	4000
N°10	118	120	122	120	1/40	495	4800
<b>Chema al 5%</b>							
N°1	31	33	34	33	1	240	33
N°2	43	45	48	45	1/2	270	90
N°3	52	54	52	53	1/4	300	212
N°4	84	86	88	86	1/4	330	344
N°5	63	64	68	65	1/10	360	650
N°6	106	108	109	108	1/10	390	1080
N°7	87	90	87	88	1/20	420	1760
N°8	130	132	138	133	1/20	450	2660
N°9	92	93	95	93	1/40	480	3720
N°10	108	109	112	110	1/40	495	4400
<b>Chema al 6%</b>							
N°1	16	17	19	17	1	210	17
N°2	37	38	40	38	1/2	270	76
N°3	71	74	74	73	1/2	300	146
N°4	70	71	75	72	1/4	330	288
N°5	55	58	58	57	1/10	360	570
N°6	88	90	91	90	1/10	390	900
N°7	72	74	74	73	1/20	420	1460
N°8	112	114	117	114	1/20	450	2280
N°9	80	81	85	82	1/40	480	3280
N°10	114	112	118	115	1/40	510	4600
<b>Sika Rapid-1 al 1%</b>							
N°1	27	23	24	25	1	210	25
N°2	28	25	26	26	1/2	240	52
N°3	48	45	46	46	1/2	270	92
N°4	56	53	54	54	1/4	300	216
N°5	118	116	119	118	1/4	330	472
N°6	84	81	82	82	1/10	360	820
N°7	129	124	126	126	1/10	390	1260
N°8	107	105	105	106	1/20	420	2120
N°9	74	70	73	72	1/40	450	2880
N°10	107	103	104	105	1/40	480	4200

Penetraciones	Carga Aplicada-M1 (lb)	Carga Aplicada-M2 (lb)	Carga Aplicada-M3 (lb)	Carga Aplicada Promedio (lb)	Área de contacto (pulg <sup>2</sup> .)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>Sika Rapid-1 al 2%</b>							
N°1	23	19	20	21	1	210	21
N°2	26	23	27	25	1/2	240	50
N°3	44	42	42	43	1/2	270	86
N°4	50	51	53	51	1/4	300	204
N°5	99	96	95	97	1/4	330	388
N°6	77	74	73	75	1/10	360	750
N°7	122	121	119	121	1/10	390	1210
N°8	100	98	96	98	1/20	420	1960
N°9	74	72	71	72	1/40	450	2880
N°10	103	101	102	102	1/40	480	4080
<b>Sika Rapid-1 al 3%</b>							
N°1	18	17	19	18	1	210	18
N°2	24	24	25	24	1/2	240	48
N°3	42	41	42	42	1/2	270	84
N°4	44	42	46	44	1/4	300	176
N°5	94	93	97	95	1/4	330	380
N°6	72	71	77	73	1/10	360	730
N°7	120	114	121	118	1/10	390	1180
N°8	99	93	100	97	1/20	420	1940
N°9	69	66	70	68	1/40	450	2720
N°10	101	100	101	101	1/40	480	4040
<b>Sika Rapid-1 al 4%</b>							
N°1	21	22	19	21	1	210	21
N°2	43	41	45	43	1/2	270	86
N°3	47	46	46	46	1/4	300	184
N°4	88	87	83	86	1/4	330	344
N°5	70	70.5	68	70	1/10	360	700
N°6	105	104	103	104	1/10	390	1040
N°7	79	75	75	76	1/20	420	1520
N°8	122	120	119	120	1/20	450	2400
N°9	90	88	84	87	1/40	480	3480
N°10	120	114	113	116	1/40	500	4640
<b>Sika Rapid-1 al 5%</b>							
N°1	20	23	23	22	1	210	22
N°2	40	44	43	42	1/2	270	84
N°3	44	45	42	44	1/4	300	176
N°4	86	87	87	87	1/4	330	348
N°5	65	66.5	64	65	1/10	360	650
N°6	102	104	103	103	1/10	390	1030
N°7	73	88	68	76	1/20	420	1520
N°8	125	127	123	125	1/20	450	2500
N°9	87	88	89	88	1/40	480	3520
N°10	104	107	104	105	1/40	500	4200

Penetraciones	Carga Aplicada-M1 (lb)	Carga Aplicada-M2 (lb)	Carga Aplicada-M3 (lb)	Carga Aplicada Promedio (lb)	Área de contacto (pulg <sup>2</sup> .)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>Sika Rapid-1 al 6%</b>							
N°1	15	13	15	14	1	210	14
N°2	35	30	36	34	1/2	270	68
N°3	38	31	37	35	1/4	300	140
N°4	79	72	80	77	1/4	330	308
N°5	58	53	56	56	1/10	360	560
N°6	91	84	92	89	1/10	390	890
N°7	69	63	70	67	1/20	420	1340
N°8	101	97	104	101	1/20	450	2020
N°9	75	74	76	75	1/40	480	3000
N°10	102	101	104	102	1/40	505	4080
<b>MasterSet AC534 al 1%</b>							
N°1	28	24	26	26	1	210	26
N°2	35	33	34	34	1/2	240	68
N°3	64	60	62	62	1/2	270	124
N°4	63	61	61	62	1/4	300	248
N°5	61	59	60	60	1/10	330	600
N°6	99	94	97	97	1/10	360	970
N°7	90	89	88	89	1/20	390	1780
N°8	71	68	70	70	1/40	420	2800
N°9	108	103	106	106	1/40	450	4240
N°10	114	108	112	111	1/40	455	4440
<b>MasterSet AC534 al 2%</b>							
N°1	21	18	20	20	1	180	20
N°2	26	21	24	24	1/2	210	48
N°3	32	28	30	30	1/4	240	120
N°4	32	29	31	31	1/10	270	310
N°5	54	48	52	51	1/10	300	510
N°6	52	49	50	50	1/20	330	1000
N°7	82	78	80	80	1/20	360	1600
N°8	70	65	68	68	1/40	390	2720
N°9	95	90	93	93	1/40	420	3720
N°10	104	101	103	103	1/40	430	4120
<b>MasterSet AC534 al 3%</b>							
N°1	37	33	34	35	1	180	35
N°2	47	43	45	45	1/2	210	90
N°3	51	47	49	49	1/4	240	196
N°4	48	45	49	47	1/10	270	470
N°5	88	80	85	84	1/10	300	840
N°6	74	70	71	72	1/20	330	1440
N°7	67	62	62	64	1/40	360	2560
N°8	92	86	90	89	1/40	390	3560
N°9	99	94	97	97	1/40	395	3880
N°10	104	101	102	102	1/40	400	4080

Penetraciones	Carga Aplicada-M1 (lb)	Carga Aplicada-M2 (lb)	Carga Aplicada-M3 (lb)	Carga Aplicada Promedio (lb)	Área de contacto (pulg <sup>2</sup> .)	Tiempo transcurrido (t) (min)	Resistencia a la Penetración (lb/pulg <sup>2</sup> .)
<b>MasterSet AC534 al 4%</b>							
Nº1	34	31	30	32	1	180	32
Nº2	43	39	41	41	1/2	210	82
Nº3	44	40	42	42	1/4	240	168
Nº4	43	40	43	42	1/10	270	420
Nº5	72	68	70	70	1/10	300	700
Nº6	70	67	67	68	1/20	330	1360
Nº7	108	103	107	106	1/20	360	2120
Nº8	80	76	78	78	1/40	390	3120
Nº9	102	99	101	101	1/40	420	4040
Nº10	109	104	107	107	1/40	425	4280
<b>MasterSet AC534 al 5%</b>							
Nº1	31	30	31	31	1	180	31
Nº2	41	37	39	39	1/2	210	78
Nº3	39	36	39	38	1/4	240	152
Nº4	40	35	38	38	1/10	270	380
Nº5	70	68	67	68	1/10	300	680
Nº6	67	62	66	65	1/20	330	1300
Nº7	99	91	97	96	1/20	360	1920
Nº8	77	73	75	75	1/40	390	3000
Nº9	99	94	97	97	1/40	420	3880
Nº10	108	103	106	106	1/40	425	4240
<b>MasterSet AC534 al 6%</b>							
Nº1	27	23	25	25	1	180	25
Nº2	36	30	34	33	1/2	210	66
Nº3	32	29	30	30	1/4	240	120
Nº4	33	29	30	31	1/10	270	310
Nº5	61	57	59	59	1/10	300	590
Nº6	60	58	60	59	1/20	330	1180
Nº7	87	86	85	86	1/20	360	1720
Nº8	68	63	66	66	1/40	390	2640
Nº9	91	88	93	91	1/40	420	3640
Nº10	104	103	105	104	1/40	435	4160

**Ensayo de Resistencia a la compresión:**

*Tabla 87: Resistencia a compresión a 3 días de curado.*

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
CHEMA 3	0%	P-1-3	201.8	101.56	8100.94	116.5	14.38	147	147
		P-2-3	202.1	101.35	8067.47	116.6	14.45	147	
		P-3-3	202.3	101.21	8045.20	117.1	14.56	148	
	1%	C1-1-3	202.5	101.17	8038.84	120.9	15.04	153	153
		C1-2-3	202.6	101.59	8105.72	121.5	14.99	153	
		C1-3-3	203.5	101.36	8069.06	122.1	15.13	154	
	2%	C2-1-3	201.9	101.22	8046.79	127.9	15.89	162	163
		C2-2-3	203.6	101.44	8081.80	128.6	15.91	162	
		C2-3-3	202.9	101.37	8070.65	130.5	16.17	165	
	3%	C3-1-3	202.4	101.39	8073.84	137.1	16.98	173	171
		C3-2-3	203.1	101.45	8083.40	135.3	16.74	171	
		C3-3-3	202.0	101.22	8046.79	134.2	16.68	170	
	4%	C4-1-3	202.7	101.27	8054.74	131.5	16.33	166	167
		C4-2-3	203.6	101.41	8077.03	131.6	16.29	166	
		C4-3-3	203.5	101.34	8065.88	132.8	16.46	168	
	5%	C5-1-3	202.4	101.18	8040.43	128.8	16.02	163	164
		C5-2-3	202.8	101.24	8049.97	129.5	16.09	164	
		C5-3-3	202.5	101.27	8054.74	130.7	16.23	165	
6%	C6-1-3	203.2	101.32	8062.70	123.8	15.35	157	158	
	C6-2-3	202.8	101.38	8072.25	125.6	15.56	159		
	C6-3-3	202.4	101.39	8073.84	124.3	15.40	157		
SIKA RAPID-1	0%	P-1-3	201.8	101.56	8100.94	116.5	14.38	147	147
		P-2-3	202.1	101.35	8067.47	116.6	14.45	147	
		P-3-3	202.3	101.21	8045.20	117.1	14.56	148	
	1%	S1-1-3	201.9	101.26	8053.15	134.4	16.69	170	172
		S1-2-3	202.6	101.38	8072.25	137.3	17.01	173	
		S1-3-3	202.8	101.64	8113.70	136.9	16.87	172	
	2%	S2-1-3	201.7	101.39	8073.84	134.1	16.61	169	171
		S2-2-3	203.5	101.22	8046.79	135.6	16.85	172	
		S2-3-3	203.1	101.24	8049.97	136.4	16.94	173	
	3%	S3-1-3	202.9	101.65	8115.30	133.4	16.44	168	167
		S3-2-3	202.5	101.48	8088.18	132.1	16.33	166	
		S3-3-3	202.3	101.18	8040.43	132.4	16.47	168	
4%	S4-1-3	201.3	101.19	8042.02	130.4	16.21	165	164	
	S4-2-3	201.7	101.54	8097.75	130.8	16.15	165		
	S4-3-3	202.3	101.45	8083.40	128.9	15.95	163		

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
	5%	S5-1-3	201.8	101.37	8070.65	126.4	15.66	160	160
		S5-2-3	201.7	101.25	8051.56	126.7	15.74	160	
		S5-3-3	202.4	101.28	8056.33	127.3	15.80	161	
	6%	S6-1-3	203.1	101.51	8092.96	123.3	15.24	155	156
		S6-2-3	202.6	101.43	8080.21	125.4	15.52	158	
		S6-3-3	202.3	101.54	8097.75	123.5	15.25	155	
MASTERSET AC 534	0%	P-1-3	201.8	101.56	8100.94	116.5	14.38	147	147
		P-2-3	202.1	101.35	8067.47	116.6	14.45	147	
		P-3-3	202.3	101.21	8045.20	117.1	14.56	148	
	1%	B1-1-3	201.7	101.45	8083.40	126.3	15.62	159	160
		B1-2-3	201.9	101.56	8100.94	127.5	15.74	160	
		B1-3-3	202.6	101.35	8067.47	128.0	15.87	162	
	2%	B2-1-3	201.3	101.61	8108.92	134.2	16.55	169	171
		B2-2-3	202.1	101.21	8045.20	135.1	16.79	171	
		B2-3-3	202.5	101.22	8046.79	135.4	16.83	172	
	3%	B3-1-3	202.8	101.45	8083.40	145.1	17.95	183	184
		B3-2-3	201.5	101.51	8092.96	145.3	17.95	183	
		B3-3-3	203.5	101.18	8040.43	146.3	18.20	185	
	4%	B4-1-3	201.9	101.16	8037.25	143.2	17.82	182	183
		B4-2-3	203.2	101.26	8053.15	144.3	17.92	183	
		B4-3-3	202.4	101.37	8070.65	145.3	18.00	184	
	5%	B5-1-3	202.1	101.41	8077.03	138.8	17.18	175	176
		B5-2-3	203.1	101.43	8080.21	139.1	17.21	175	
		B5-3-3	201.8	101.51	8092.96	140.2	17.32	177	
	6%	B6-1-3	203.3	101.39	8073.84	128.6	15.93	162	164
		B6-2-3	202.6	101.24	8049.97	130.4	16.20	165	
		B6-3-3	202.5	101.47	8086.59	131.3	16.24	166	

Tabla 88: Resistencia a compresión a 7 días de Curado.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
CHEMA 3	0%	P-1-7	201.5	101.35	8067.47	145.1	17.99	183	184
		P-2-7	201.9	101.44	8081.80	145.4	17.99	183	
		P-3-7	203.6	101.29	8057.92	146.7	18.21	186	
	1%	C1-1-7	202.5	101.12	8030.90	147.9	18.42	188	188
		C1-2-7	202.6	101.46	8084.99	148.2	18.33	187	
		C1-3-7	202.1	101.65	8115.30	151.1	18.62	190	
	2%	C2-1-7	201.8	101.47	8086.59	154.7	19.13	195	196
		C2-2-7	202.4	101.52	8094.56	157.3	19.43	198	
		C2-3-7	203.1	101.41	8077.03	155.3	19.23	196	
	3%	C3-1-7	202.1	101.31	8061.10	159.1	19.74	201	202
		C3-2-7	202.6	101.22	8046.79	160.1	19.90	203	
		C3-3-7	203.6	101.19	8042.02	158.4	19.70	201	
	4%	C4-1-7	202.6	101.38	8072.25	154.6	19.15	195	195
		C4-2-7	201.9	101.42	8078.62	155.4	19.24	196	
		C4-3-7	201.7	101.51	8092.96	153.3	18.94	193	
	5%	C5-1-7	202.4	101.29	8057.92	148.7	18.45	188	189
		C5-2-7	203.2	101.18	8040.43	148.1	18.42	188	
		C5-3-7	203.4	101.53	8096.15	151.4	18.70	191	
6%	C6-1-7	202.8	101.37	8070.65	148.5	18.40	188	186	
	C6-2-7	202.7	101.61	8108.92	146.6	18.08	184		
	C6-3-7	202.4	101.45	8083.40	146.8	18.16	185		
SIKA RAPID-1	0%	P-1-7	201.5	101.35	8067.47	145.1	17.99	183	184
		P-2-7	201.9	101.44	8081.80	145.4	17.99	183	
		P-3-7	203.6	101.29	8057.92	146.7	18.21	186	
	1%	S1-1-7	202.3	101.25	8051.56	160.1	19.88	203	204
		S1-2-7	202.8	101.46	8084.99	162.1	20.05	204	
		S1-3-7	202.5	101.38	8072.25	161.4	19.99	204	
	2%	S2-1-7	201.4	101.65	8115.30	160.3	19.75	201	202
		S2-2-7	201.8	101.63	8112.11	160.7	19.81	202	
		S2-3-7	203.4	101.38	8072.25	161.0	19.94	203	
	3%	S3-1-7	203.1	101.15	8035.66	158.5	19.72	201	199
		S3-2-7	202.6	101.69	8121.69	157.6	19.40	198	
		S3-3-7	202.7	101.63	8112.11	158.3	19.51	199	
4%	S4-1-7	202.6	101.46	8084.99	153.8	19.02	194	195	
	S4-2-7	202.1	101.37	8070.65	155.4	19.25	196		
	S4-3-7	202.9	101.44	8081.80	155.6	19.25	196		

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
	5%	S5-1-7	203.6	101.21	8045.20	150.3	18.68	190	190
		S5-2-7	201.7	101.30	8059.51	149.8	18.59	189	
		S5-3-7	201.5	101.67	8118.50	152.7	18.81	192	
	6%	S6-1-7	201.8	101.56	8100.94	148.3	18.31	187	187
		S6-2-7	202.1	101.19	8042.02	146.5	18.22	186	
		S6-3-7	202.2	101.48	8088.18	150.1	18.56	189	
MASTERSET AC 534	0%	P-1-7	201.5	101.35	8067.47	145.1	17.99	183	184
		P-2-7	201.9	101.44	8081.80	145.4	17.99	183	
		P-3-7	203.6	101.29	8057.92	146.7	18.21	186	
	1%	B1-1-7	201.5	101.56	8100.94	155.8	19.23	196	198
		B1-2-7	203.5	101.61	8108.92	156.4	19.29	197	
		B1-3-7	202.8	101.47	8086.59	158.4	19.59	200	
	2%	B2-1-7	203.2	101.46	8084.99	159.5	19.73	201	202
		B2-2-7	202.4	101.22	8046.79	158.3	19.67	201	
		B2-3-7	202.1	101.56	8100.94	161.6	19.95	203	
	3%	B3-1-7	202.6	101.53	8096.15	172.3	21.28	217	215
		B3-2-7	202.7	101.41	8077.03	169.6	21.00	214	
		B3-3-7	201.5	101.34	8065.88	168.4	20.88	213	
	4%	B4-1-7	203.5	101.41	8077.03	168.6	20.87	213	213
		B4-2-7	203.1	101.26	8053.15	167.8	20.84	212	
		B4-3-7	202.6	101.17	8038.84	168.1	20.91	213	
	5%	B5-1-7	202.5	101.25	8051.56	160.3	19.91	203	205
		B5-2-7	202.8	101.37	8070.65	162.4	20.12	205	
		B5-3-7	202.7	101.38	8072.25	164.4	20.37	208	
	6%	B6-1-7	201.6	101.15	8035.66	158.4	19.71	201	199
		B6-2-7	201.9	101.22	8046.79	156.9	19.50	199	
		B6-3-7	202.4	101.47	8086.59	157.3	19.45	198	

Tabla 89: Resistencia a compresión a 14 días de curado.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
CHEMA 3	0%	P-1-14	202.3	101.37	8070.65	178.4	22.10	225	224
		P-2-14	202.4	101.42	8078.62	177.6	21.98	224	
		P-3-14	203.1	101.44	8081.80	177.9	22.01	224	
	1%	C1-1-14	201.4	101.19	8042.02	182.4	22.68	231	229
		C1-2-14	202.3	101.51	8092.96	181.0	22.37	228	
		C1-3-14	202.1	101.61	8108.92	182.4	22.49	229	
	2%	C2-1-14	202.4	101.48	8088.18	184.5	22.81	233	233
		C2-2-14	202.7	101.59	8105.72	185.2	22.85	233	
		C2-3-14	203.1	101.51	8092.96	185.4	22.91	234	
	3%	C3-1-14	203.5	101.36	8069.06	186.3	23.09	235	237
		C3-2-14	203.6	101.26	8053.15	187.1	23.23	237	
		C3-3-14	202.3	101.21	8045.20	188.6	23.44	239	
	4%	C4-1-14	201.8	101.41	8077.03	186.3	23.07	235	235
		C4-2-14	201.7	101.43	8080.21	185.1	22.91	234	
		C4-3-14	202.5	101.54	8097.75	186.3	23.01	235	
	5%	C5-1-14	202.3	101.30	8059.51	181.9	22.57	230	231
		C5-2-14	202.3	101.19	8042.02	181.3	22.54	230	
		C5-3-14	202.5	101.49	8089.77	184.1	22.76	232	
6%	C6-1-14	201.8	101.44	8081.80	180.3	22.31	227	227	
	C6-2-14	202.4	101.45	8083.40	179.4	22.19	226		
	C6-3-14	203.3	101.39	8073.84	179.9	22.28	227		
SIKA RAPID-1	0%	P-1-14	202.3	101.37	8070.65	178.4	22.10	225	224
		P-2-14	202.4	101.42	8078.62	177.6	21.98	224	
		P-3-14	203.1	101.44	8081.80	177.9	22.01	224	
	1%	S1-1-14	201.7	101.19	8042.02	190.3	23.66	241	240
		S1-2-14	202.2	101.49	8089.77	189.6	23.44	239	
		S1-3-14	202.5	101.41	8077.03	191.2	23.67	241	
	2%	S2-1-14	201.6	101.59	8105.72	189.4	23.37	238	237
		S2-2-14	202.5	101.68	8120.09	188.3	23.19	236	
		S2-3-14	202.1	101.41	8077.03	187.2	23.18	236	
	3%	S3-1-14	202.3	101.21	8045.20	187.3	23.28	237	235
		S3-2-14	202.6	101.67	8118.50	187.1	23.05	235	
		S3-3-14	203.4	101.59	8105.72	186.3	22.98	234	
4%	S4-1-14	201.9	101.51	8092.96	184.4	22.79	232	232	
	S4-2-14	201.8	101.45	8083.40	182.9	22.63	231		
	S4-3-14	203.5	101.38	8072.25	184.1	22.81	232		

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
	5%	S5-1-14	203.6	101.19	8042.02	180.5	22.44	229	229
		S5-2-14	201.8	101.26	8053.15	181.4	22.53	230	
		S5-3-14	202.8	101.54	8097.75	180.2	22.25	227	
	6%	S6-1-14	201.8	101.51	8092.96	180.3	22.28	227	227
		S6-2-14	202.1	101.24	8049.97	178.9	22.22	227	
		S6-3-14	201.6	101.51	8092.96	179.4	22.17	226	
MASTERSET AC 534	0%	P-1-14	202.3	101.37	8070.65	178.4	22.10	225	224
		P-2-14	202.4	101.42	8078.62	177.6	21.98	224	
		P-3-14	203.1	101.44	8081.80	177.9	22.01	224	
	1%	B1-1-14	202.4	101.51	8092.96	182.7	22.58	230	230
		B1-2-14	203.1	101.61	8108.92	182.5	22.51	229	
		B1-3-14	203.2	101.56	8100.94	182.4	22.52	230	
	2%	B2-1-14	202.6	101.40	8075.43	186.8	23.13	236	236
		B2-2-14	202.0	101.26	8053.15	185.9	23.08	235	
		B2-3-14	202.4	101.51	8092.96	189.2	23.38	238	
	3%	B3-1-14	202.2	101.49	8089.77	194.5	24.04	245	246
		B3-2-14	201.7	101.47	8086.59	195.7	24.20	247	
		B3-3-14	201.8	101.31	8061.10	193.5	24.00	245	
	4%	B4-1-14	202.6	101.39	8073.84	191.3	23.69	242	244
		B4-2-14	201.7	101.29	8057.92	193.6	24.03	245	
		B4-3-14	202.8	101.22	8046.79	192.5	23.92	244	
	5%	B5-1-14	202.6	101.29	8057.92	186.6	23.16	236	237
		B5-2-14	201.6	101.4	8075.43	189.1	23.42	239	
		B5-3-14	202.4	101.19	8042.02	187.1	23.27	237	
	6%	B6-1-14	202.7	101.17	8038.84	182.1	22.65	231	231
		B6-2-14	201.8	101.19	8042.02	181.3	22.54	230	
		B6-3-14	201.9	101.51	8092.96	183.4	22.66	231	

Tabla 90: Resistencia a compresión a los 28 días de curado.

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
CHEMA 3	0%	P-1-28	201.4	101.41	8077.03	212.8	26.35	269	268
		P-2-28	201.8	101.56	8100.94	213.7	26.38	269	
		P-3-28	203.5	101.29	8057.92	210.9	26.17	267	
	1%	C1-1-28	202.5	101.51	8092.96	212.3	26.23	267	269
		C1-2-28	202.6	101.36	8069.06	214.1	26.53	270	
		C1-3-28	202.1	101.44	8081.80	213.8	26.45	270	
	2%	C2-1-28	203.5	101.41	8077.03	214.1	26.51	270	272
		C2-2-28	202.7	101.51	8092.96	215.6	26.64	272	
		C2-3-28	201.6	101.36	8069.06	216.4	26.82	273	
	3%	C3-1-28	201.9	101.38	8072.25	216.5	26.82	273	273
		C3-2-28	202.4	101.25	8051.56	215.3	26.74	273	
		C3-3-28	201.8	101.19	8042.02	214.8	26.71	272	
	4%	C4-1-28	202.6	101.34	8065.88	214.4	26.58	271	272
		C4-2-28	202.4	101.39	8073.84	215.9	26.74	273	
		C4-3-28	203.3	101.52	8094.56	215.3	26.60	271	
	5%	C5-1-28	203.4	101.31	8061.10	213.6	26.50	270	269
		C5-2-28	202.9	101.22	8046.79	212.4	26.40	269	
		C5-3-28	201.7	101.54	8097.75	213.7	26.39	269	
6%	C6-1-28	201.9	101.38	8072.25	212.3	26.30	268	266	
	C6-2-28	202.2	101.59	8105.72	211.1	26.04	265		
	C6-3-28	202.3	101.47	8086.59	211.3	26.13	266		
SIKA RAPID-1	0%	P-1-28	201.4	101.41	8077.03	212.8	26.35	269	268
		P-2-28	201.8	101.56	8100.94	213.7	26.38	269	
		P-3-28	203.5	101.29	8057.92	210.9	26.17	267	
	1%	S1-1-28	202.4	101.31	8061.10	219.6	27.24	278	277
		S1-2-28	202.5	101.41	8077.03	219.4	27.16	277	
		S1-3-28	201.6	101.56	8100.94	220.3	27.19	277	
	2%	S2-1-28	201.1	101.62	8110.51	217.4	26.80	273	275
		S2-2-28	202.5	101.35	8067.47	218.4	27.07	276	
		S2-3-28	201.5	101.17	8038.84	218.5	27.18	277	
	3%	S3-1-28	203.9	101.26	8053.15	216.4	26.87	274	274
		S3-2-28	203.6	101.38	8072.25	217.8	26.98	275	
		S3-3-28	203.1	101.22	8046.79	215.3	26.76	273	
	4%	S4-1-28	202.5	101.25	8051.56	214.8	26.68	272	272
		S4-2-28	202.2	101.29	8057.92	214.5	26.62	271	
		S4-3-28	202.7	101.36	8069.06	215.6	26.72	272	

Marca de Acelerante	% de Adición	Testigo	Dimensiones		Área (mm <sup>2</sup> )	Fuerza (KN)	Resistencia a Compresión (MPa)	Resistencia a Compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a Compresión Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Altura (mm)	Diámetro (mm)					
	5%	S5-1-28	203.7	101.33	8064.29	213.1	26.43	269	269
		S5-2-28	202.6	101.24	8049.97	213.7	26.55	271	
		S5-3-28	202.9	101.45	8083.40	212.9	26.34	268	
	6%	S6-1-28	201.8	101.56	8100.94	211.8	26.15	267	268
		S6-2-28	202.4	101.42	8078.62	211.9	26.23	267	
		S6-3-28	201.5	101.34	8065.88	213.2	26.43	269	
MASTERSET AC 534	0%	P-1-28	201.4	101.41	8077.03	212.8	26.35	269	268
		P-2-28	201.8	101.56	8100.94	213.7	26.38	269	
		P-3-28	203.5	101.29	8057.92	210.9	26.17	267	
	1%	B1-1-28	203.1	101.45	8083.40	216.5	26.78	273	273
		B1-2-28	202.5	101.62	8110.51	217.3	26.79	273	
		B1-3-28	202.8	101.34	8065.88	216.8	26.88	274	
	2%	B2-1-28	202.1	101.33	8064.29	220.6	27.36	279	278
		B2-2-28	202.7	101.26	8053.15	220.4	27.37	279	
		B2-3-28	203.0	101.54	8097.75	219.9	27.16	277	
	3%	B3-1-28	203.1	101.19	8042.02	222.8	27.70	282	281
		B3-2-28	203.5	101.56	8100.94	222.5	27.47	280	
		B3-3-28	202.3	101.37	8070.65	223.4	27.68	282	
	4%	B4-1-28	202.8	101.27	8054.74	223.4	27.74	283	280
		B4-2-28	202.4	101.63	8112.11	222.1	27.38	279	
		B4-3-28	201.8	101.26	8053.15	220.3	27.36	279	
	5%	B5-1-28	201.7	101.28	8056.33	220.4	27.36	279	278
		B5-2-28	202.5	101.36	8069.06	219.7	27.23	278	
		B5-3-28	201.9	101.44	8081.80	218.6	27.05	276	
	6%	B6-1-28	202.3	101.18	8040.43	214.4	26.67	272	271
		B6-2-28	202.4	101.25	8051.56	213.8	26.55	271	
		B6-3-28	202.6	101.23	8048.38	214.3	26.63	271	

## ANEXOS

### ANEXO 1: Panel fotográfico:



*Figura 39: Análisis granulométrico de los agregados.*



*Figura 40: Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.*



*Figura 41: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino y grueso*



*Figura 42: Contenido de humedad de los agregados.*



*Figura 43: Ensayos químicos de los agregados y del agua de mezcla.*



*Figura 44: Elaboración y tamizado de la mezcla de concreto convencional.*



*Figura 45: Ensayo de consistencia.*



*Figura 46: Penetrómetro y accesorios para ensayo de tiempo de fraguado.*



*Figura 47: Ensayo de temperatura.*



*Figura 48: Ensayo de tiempo de fraguado.*



*Figura 49: Refrendado de probetas cilíndricas.*

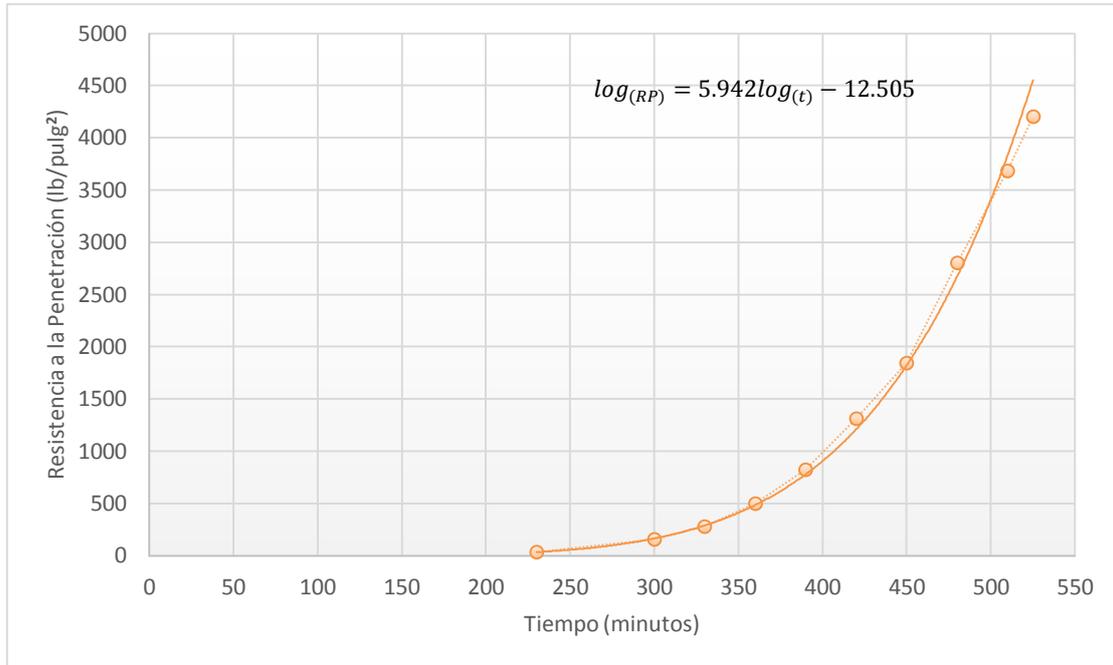


*Figura 50: Ensayo de resistencia a la compresión.*

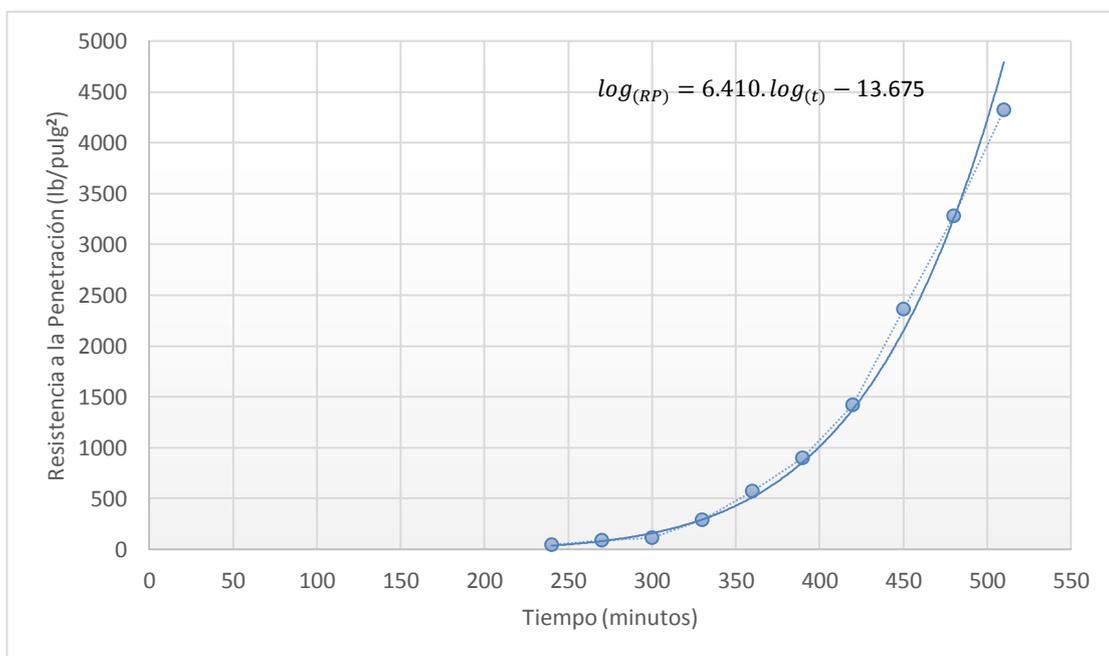


*Figura 51: Aditivos Tipo C*

**ANEXO 2: Curvas logarítmicas de Fraguado:**



*Figura 52: Curva de fraguado patrón (0%)*



*Figura 53: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 1%*

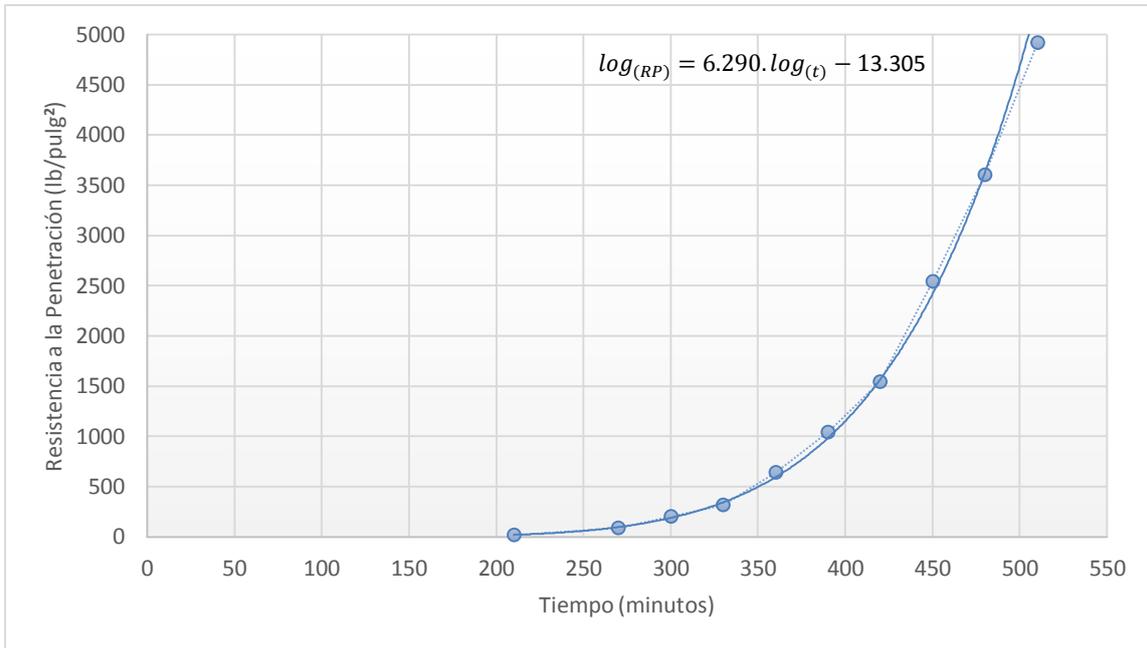


Figura 54: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 2%

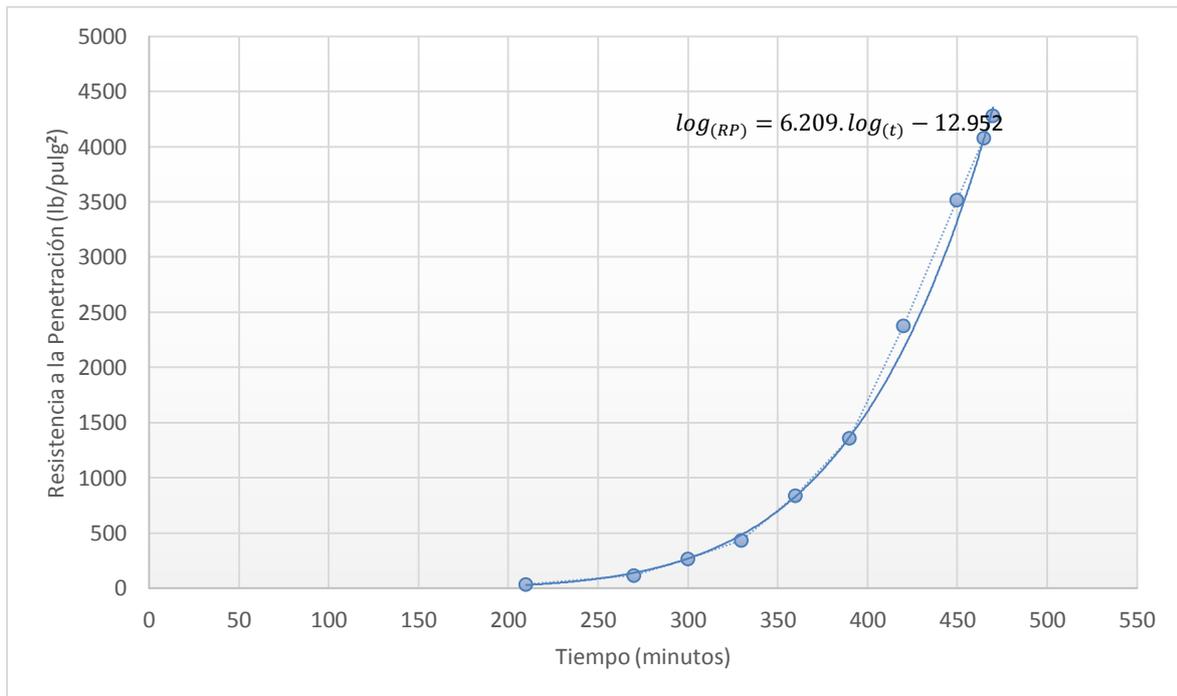


Figura 55: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 3%

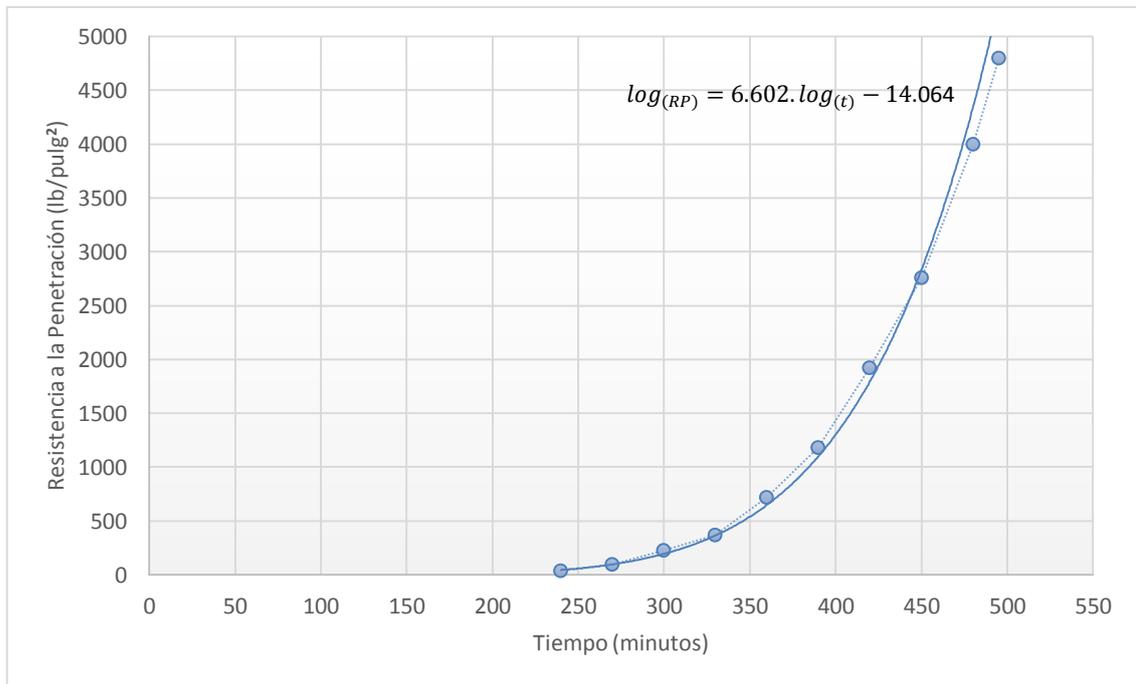


Figura 56: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 4%

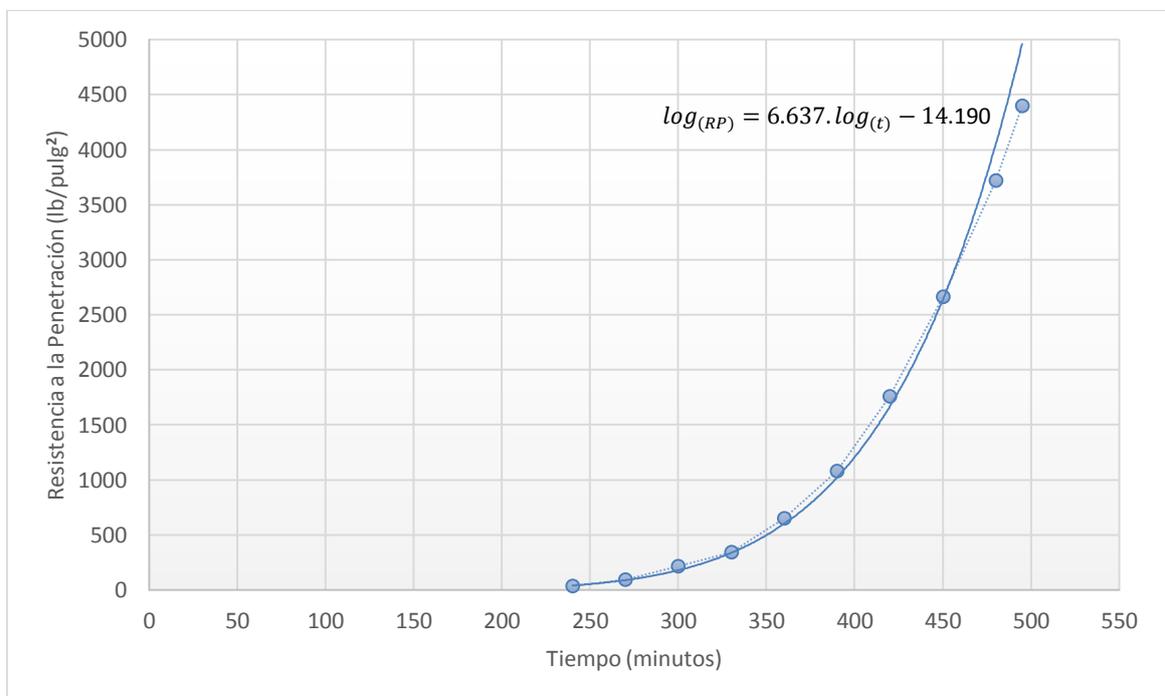


Figura 57: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 5%

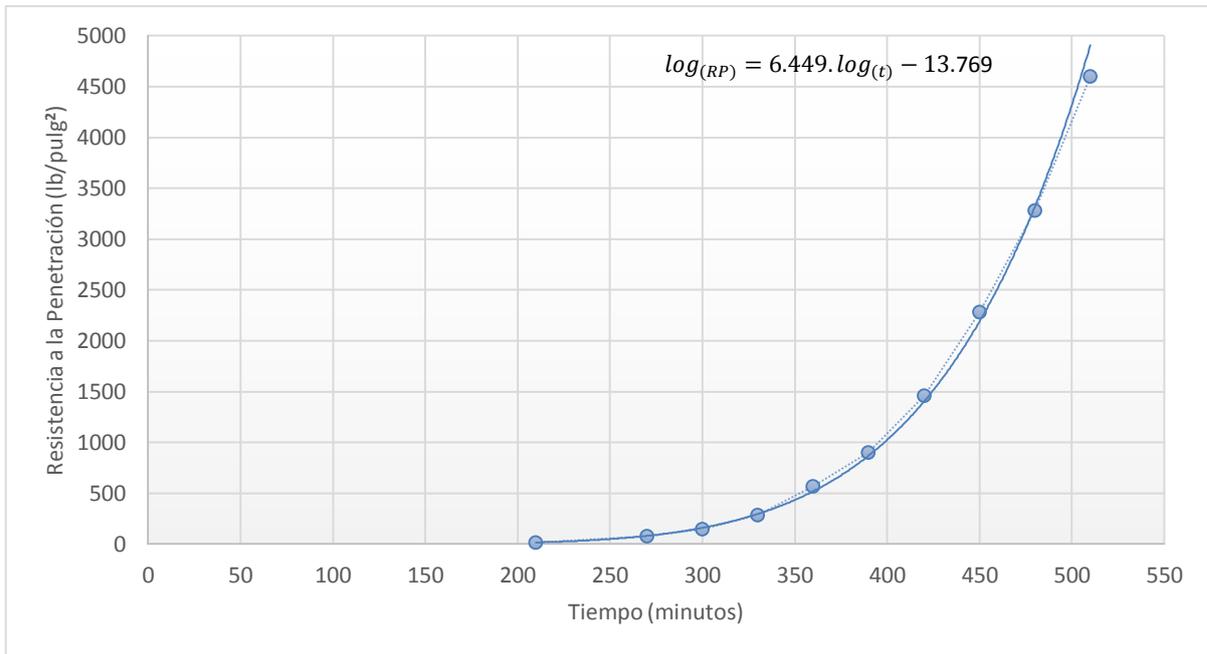


Figura 58: Curva de fraguado con aditivo Chema 3 al 6%

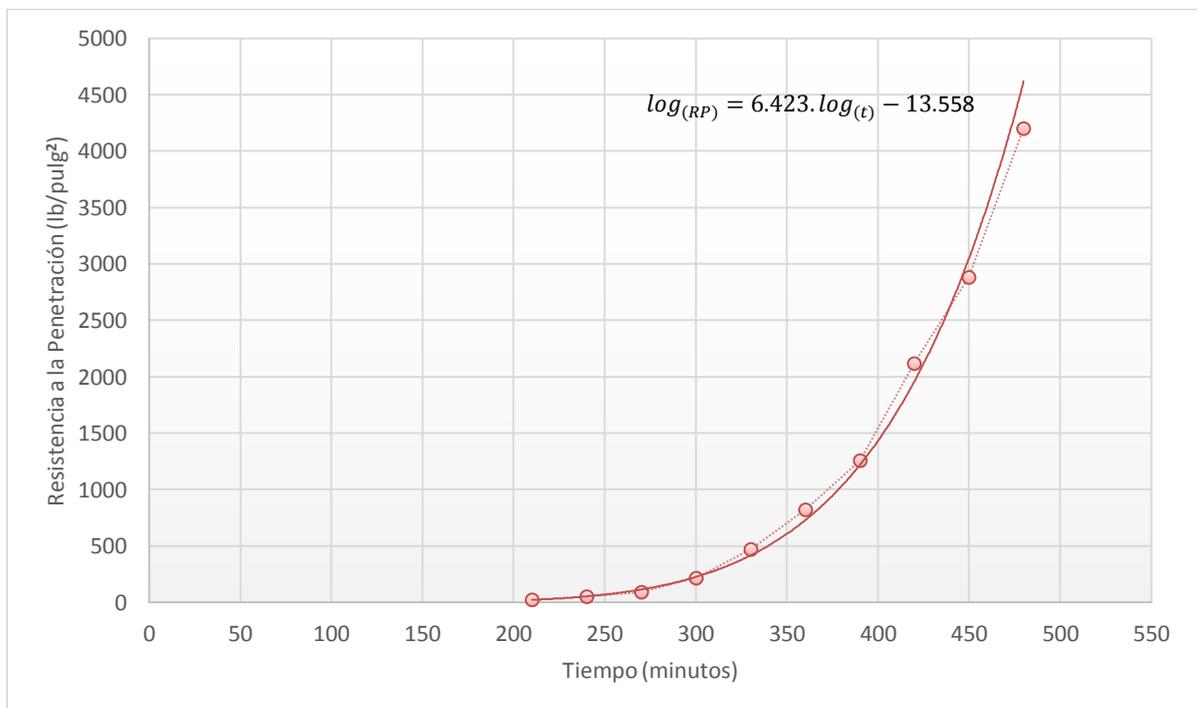


Figura 59: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 1%

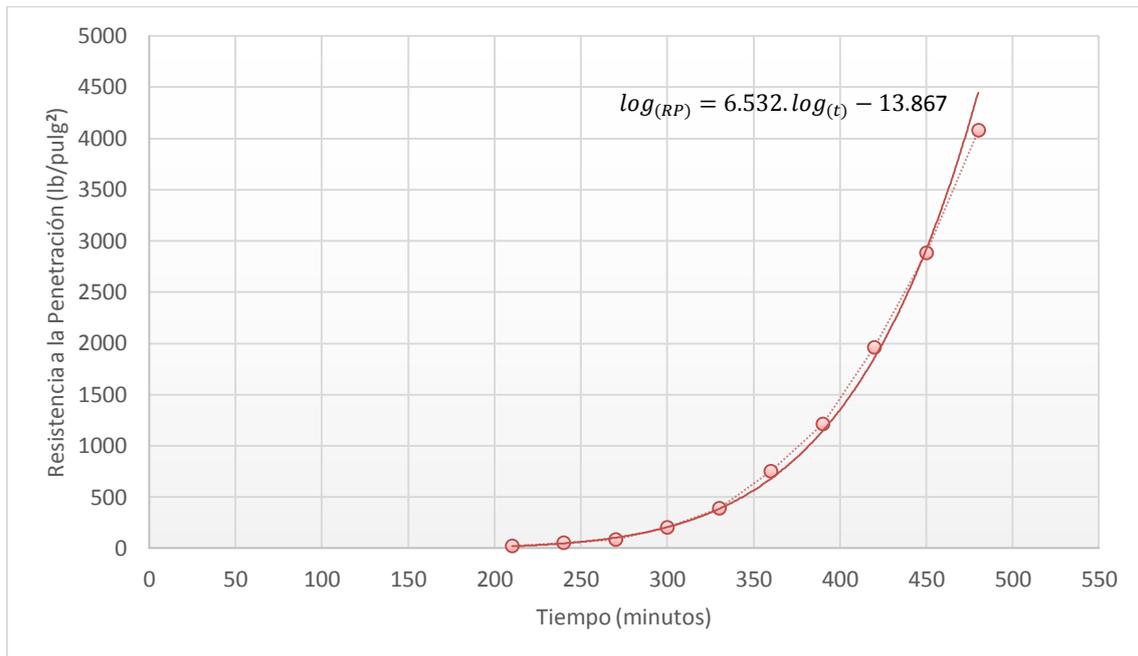


Figura 60: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 2%

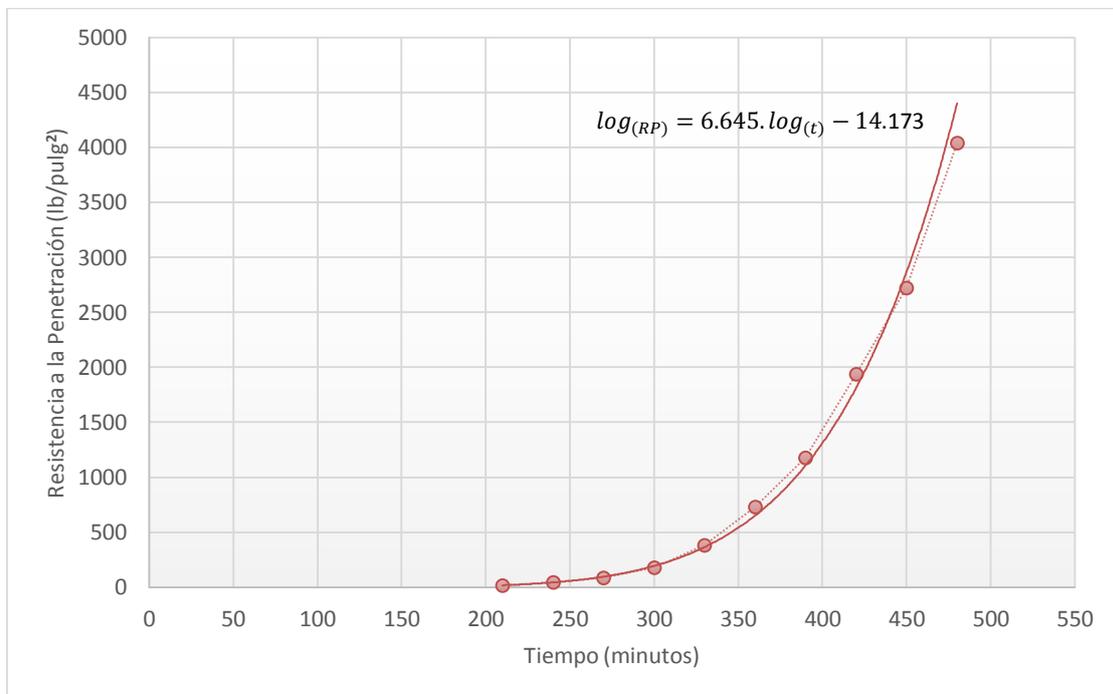


Figura 61: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 3%

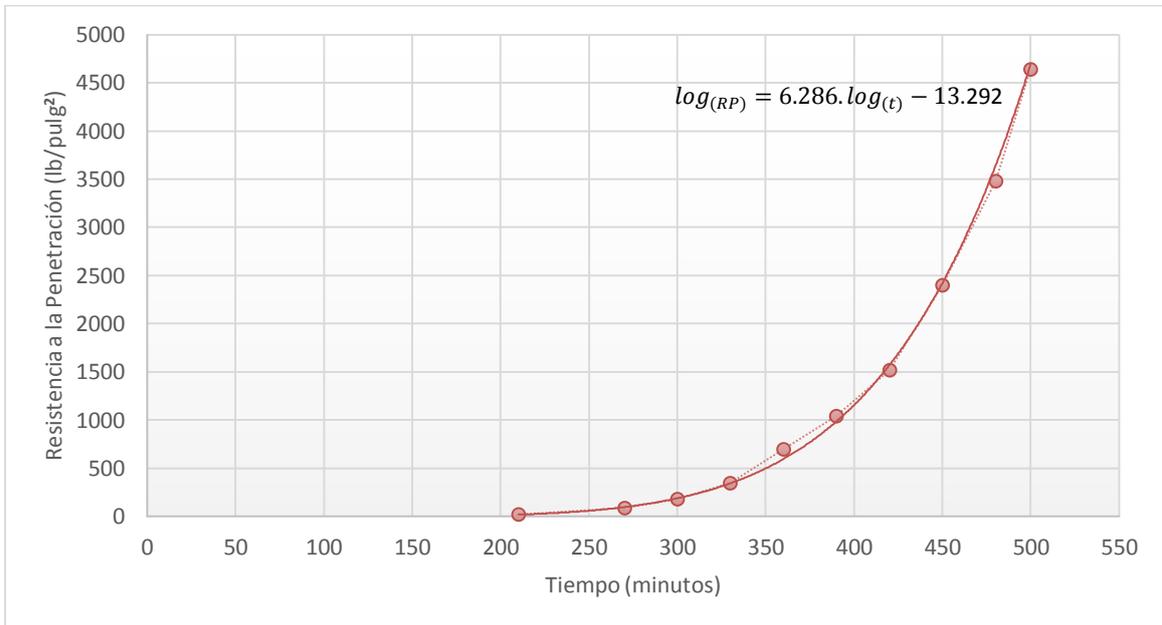


Figura 62: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 4%

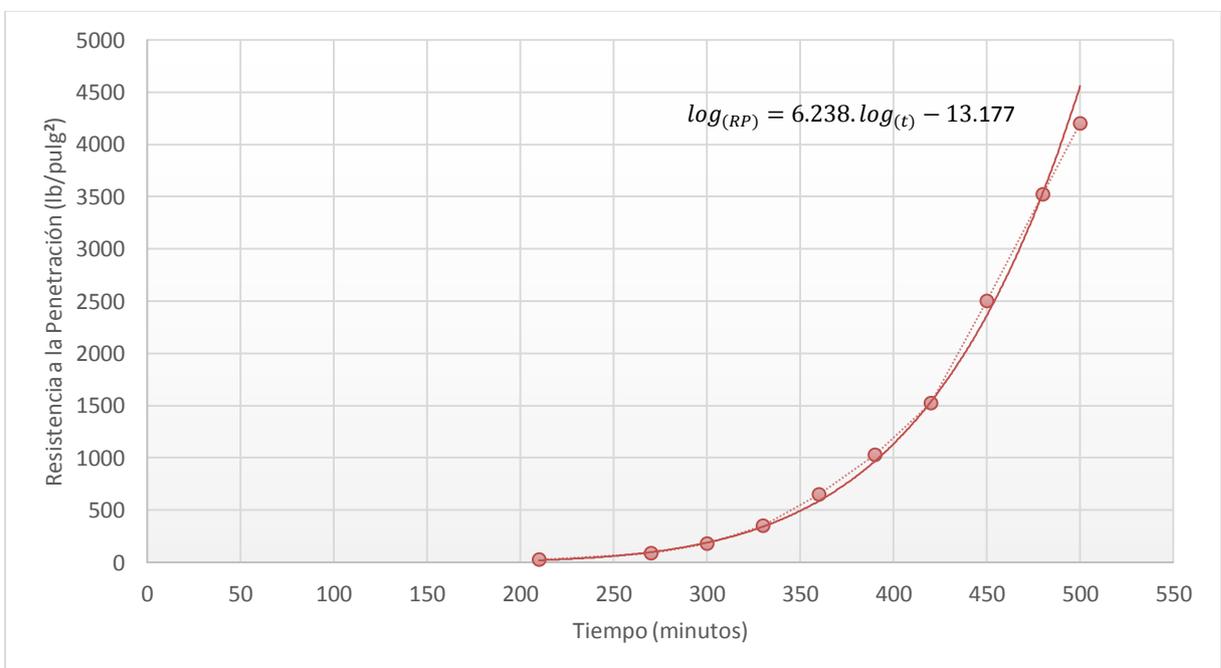


Figura 63: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 5%

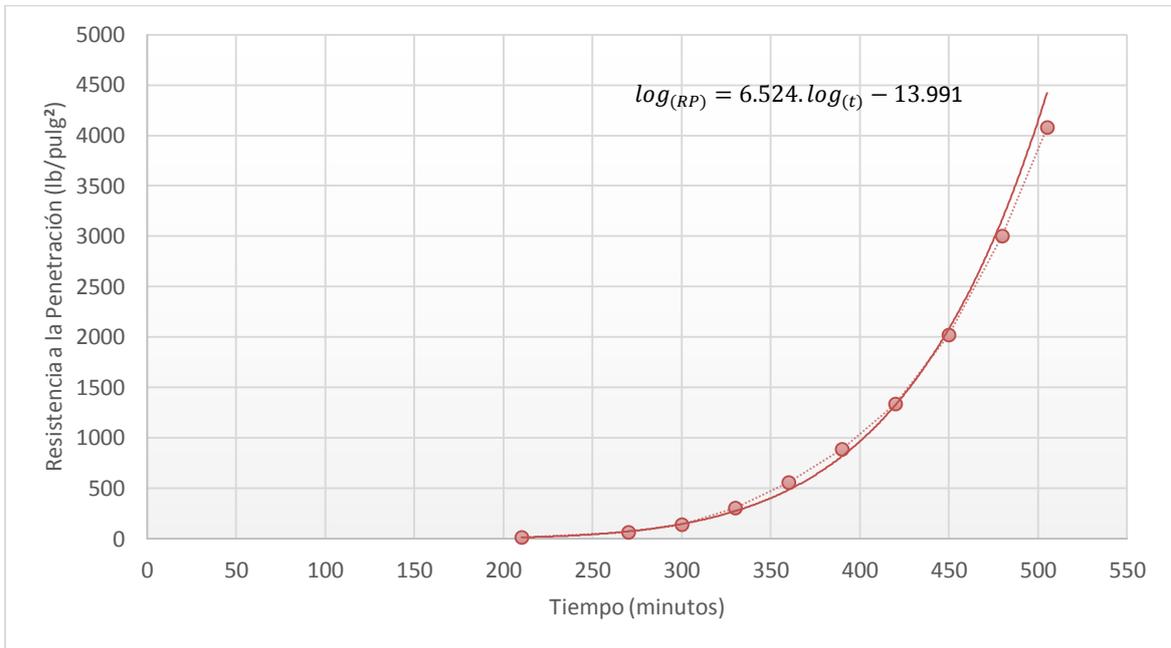


Figura 64: Curva de fraguado con aditivo SikaRapid-1 al 6%

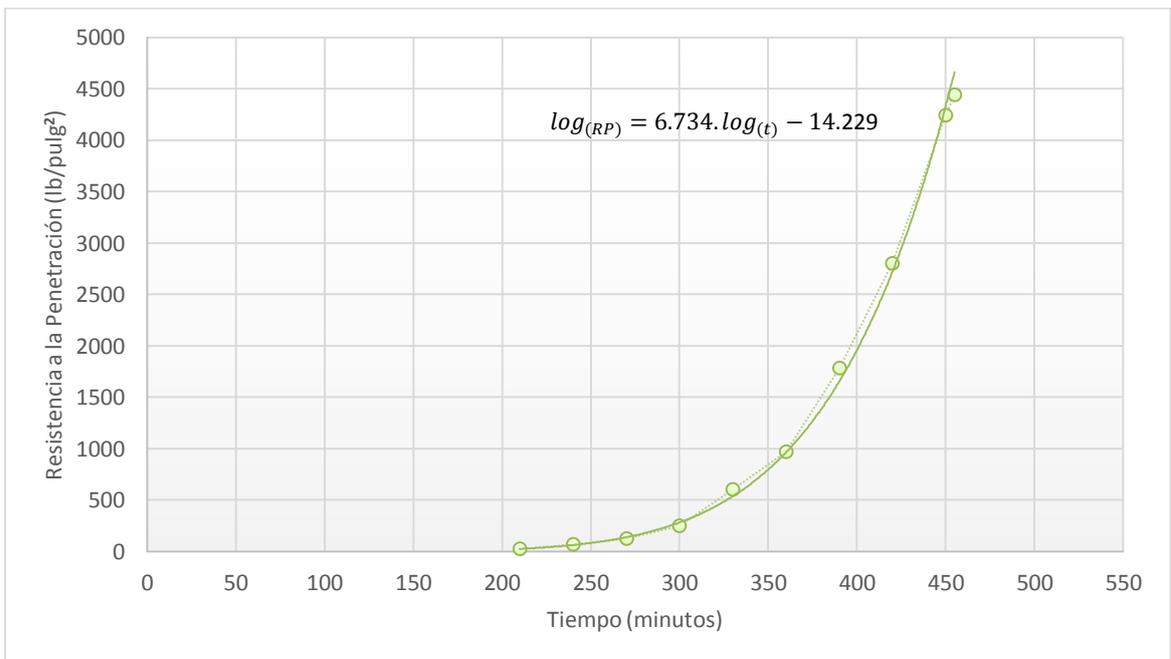


Figura 65: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 1%

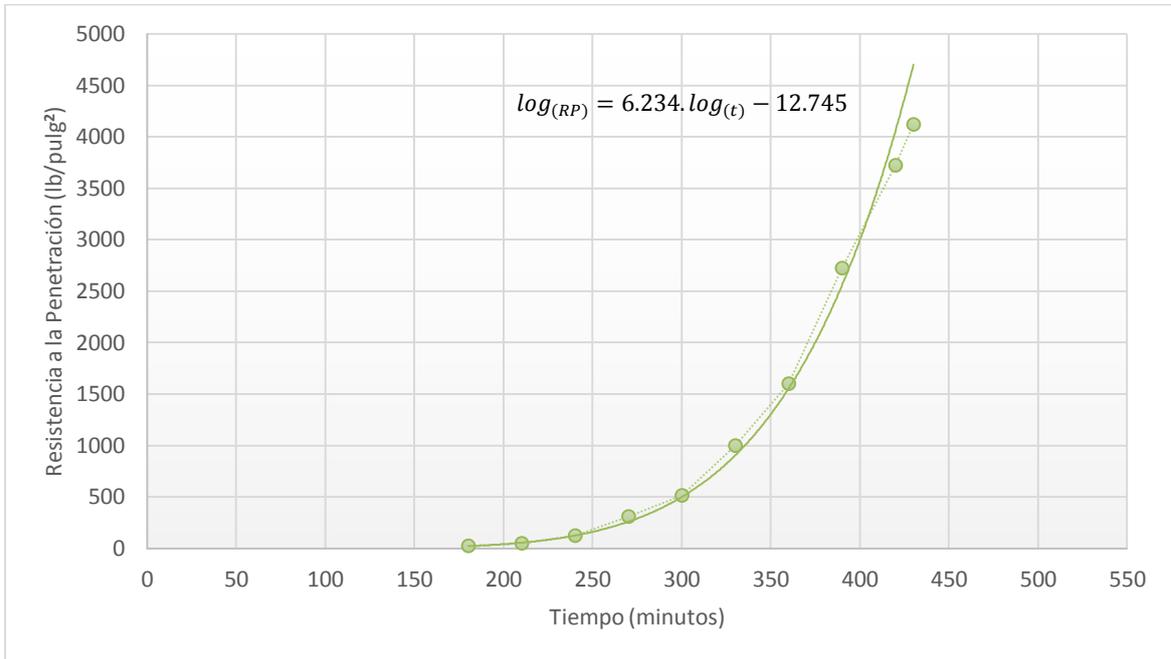


Figura 66: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 2%

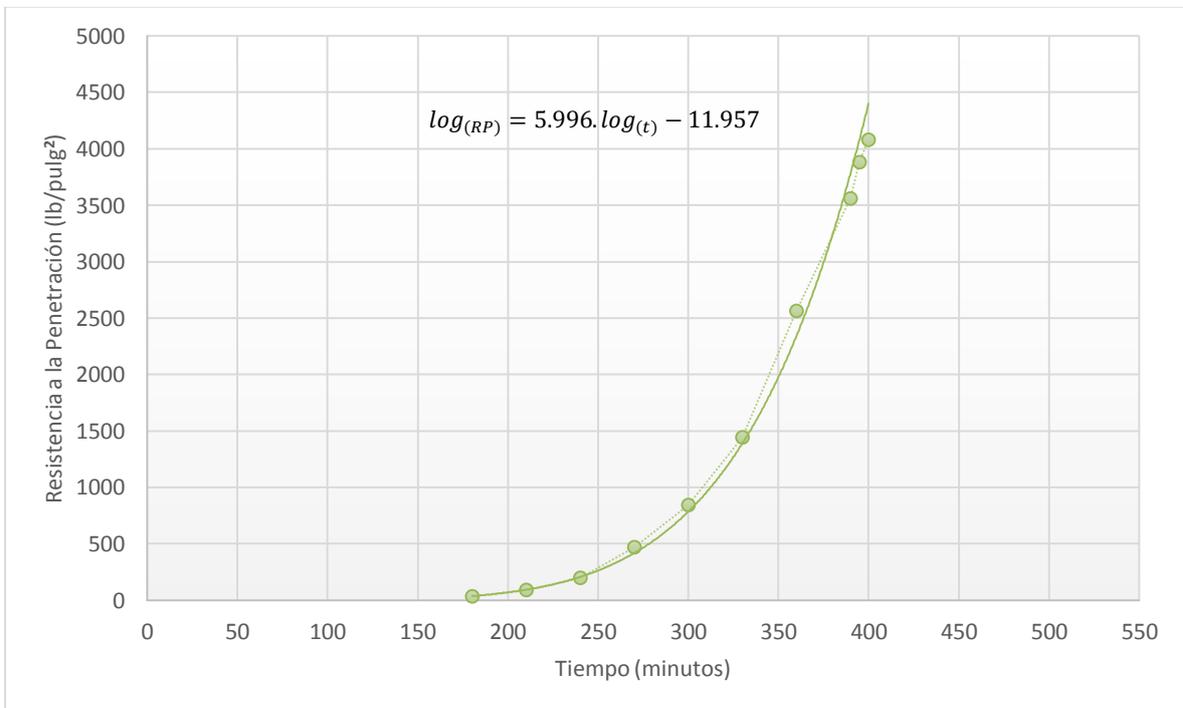


Figura 67: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 3%

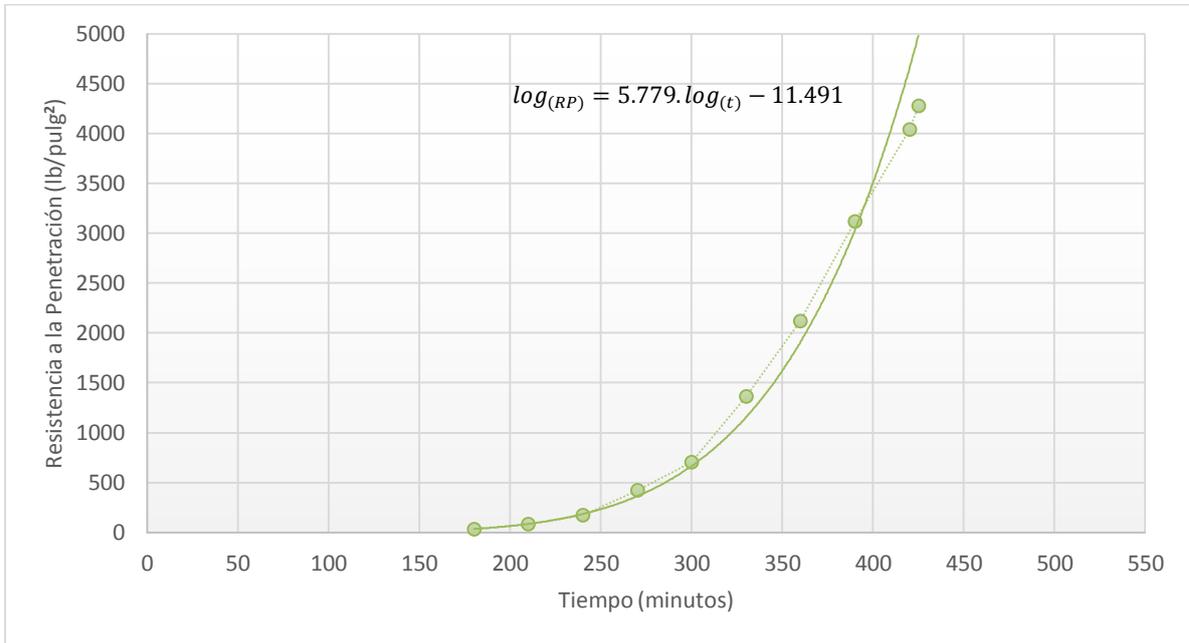


Figura 68: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 4%

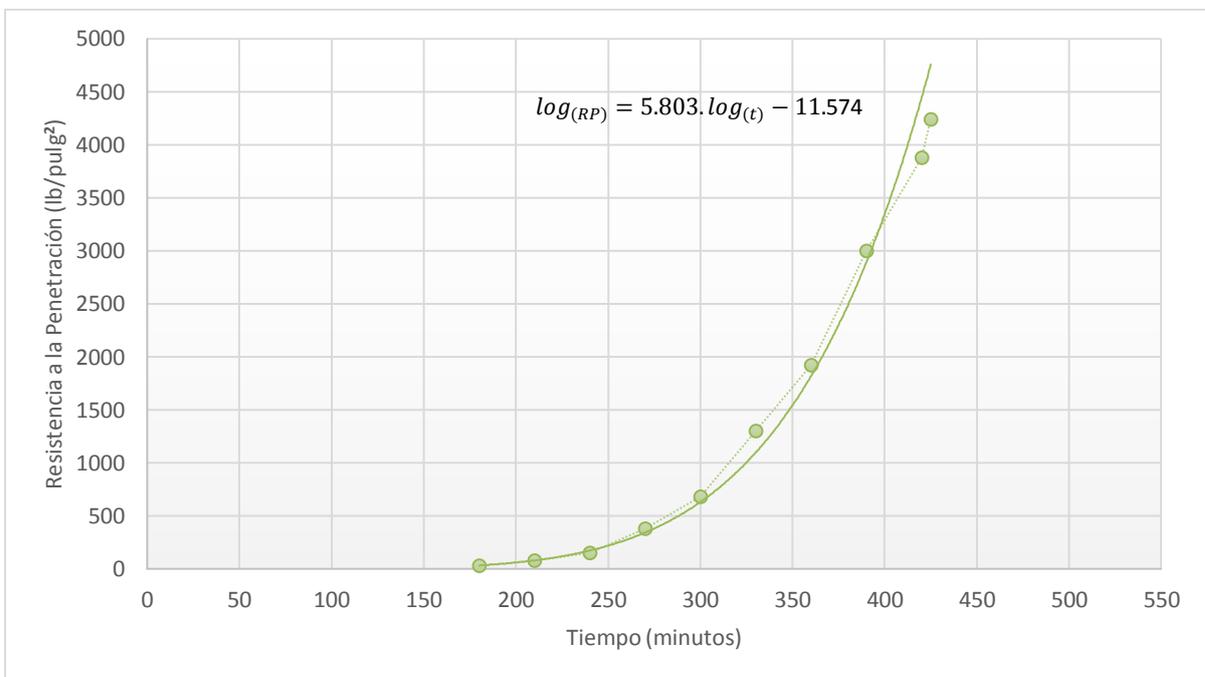
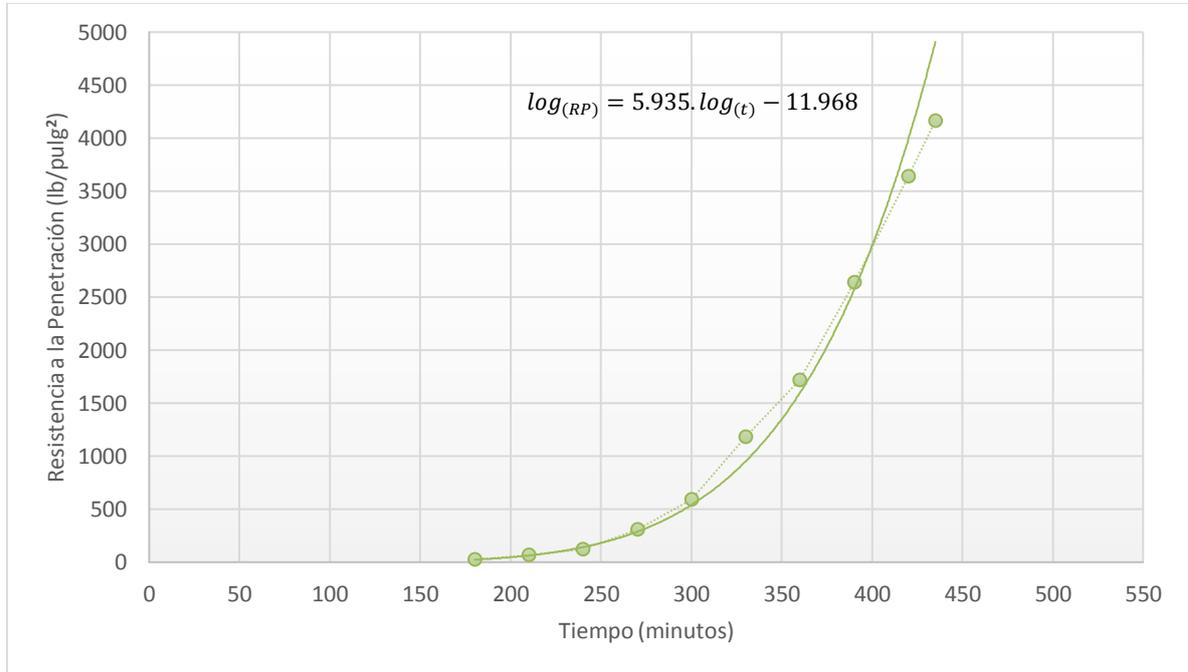


Figura 69: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 5%



*Figura 70: Curva de fraguado con aditivo MasterSet AC534 al 6%*

### ANEXO 3: Certificado de ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Concreto

INFORME N°15 - Ene 18

#### CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

**Solicitante:** Will Diego Mauricio Lara Sánchez-Universidad Privada del Norte

**Tesis:** "Influencia de los aditivos Tipo C, dosificación y curado sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado en un concreto convencional, Trujillo 2018"

**DNI:** 76189511

**Asesor:** Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro.

#### 1. MUESTRA:

**Especímenes:**

252 probetas cilíndricas de 10cm de diámetro por 20cm de largo.

**Edad de Especímenes:** 3, 7, 14 y 28 días

**Muestreo:** realizado por testista.

#### 2. ENSAYOS A APLICAR

- a. **NTP 339.183:** Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto NTP 339.183 (ASTM C31)
- b. **NTP 339.037:** Refrendado de testigos cilíndricos de concreto NTP 339.037 (ASTM C192)
- c. **NTP 339.034:** Ensayo de Resistencia a Compresión NTP 339.034 (ASTM C39)

#### 3. PARÁMETROS DEL EQUIPO: Se considera un error de $\pm 0.5\%$

Modo	Unidades	Velocidad de Carga
Mode I: Compresión	SI	2.40 KN/seg

#### 4. PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS

Fecha de conformación	Estructura	Tiempo de curado
Del 03 de Octubre al 17 de Noviembre del 2017.	Concreto convencional con aditivos Tipo C	3, 7, 14 y 28 días

**Jefe de Laboratorio:**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Iván E. Vásquez Alfaro  
ING. MATERIALES  
R.P. 123509

Trujillo, 25 de Enero del 2018

## ANEXO 4: Certificado de ensayos en la Universidad Privada del Norte



### CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

La que suscribe, Claudia Yomira Llacza Cruzado, hace constar por medio de la presente que el Sr. Will Diego Mauricio Lara Sánchez, identificado con D.N.I N° 76189511, ha realizado ensayos de granulometría, peso unitario suelto y compactado, peso específico, absorción, contenido de humedad, tiempo de fraguado y asentamiento en las instalaciones del **Laboratorio de Concreto y Estructuras** de esta universidad, requeridos para la tesis ***"Influencia de los aditivos tipo C, dosificación y curado sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado en un concreto convencional, Trujillo 2018"***; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 05 de febrero del 2018



Asistente de Laboratorio  
Carrera de Ingeniería Civil

## ANEXO 5: Solicitud de aditivo MasterSet AC 534 a empresa BASF.



Trujillo, 2 de Octubre del 2017

### Carta de Solicitud

Señor:

Stevens Ninanya Calderón

Representante Técnico de Ventas en BASF

Estimado Stevens:

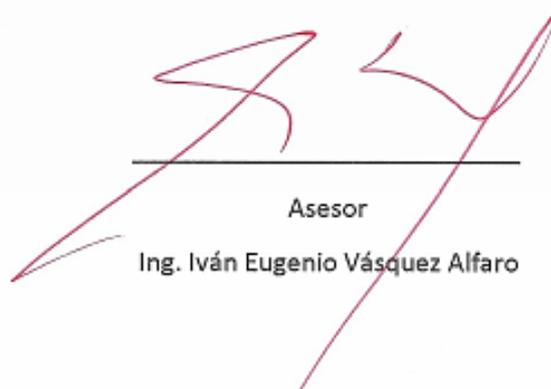
Ante la necesidad de exigencias, nos dirigimos hacia su persona rogándole que nos facilite las condiciones comerciales para la posible obtención del producto el cual consta del envase de 1 galón (5 Litros aprox.) del aditivo Master Set AC 534 ( Aditivo Acelerante libre de cloruros Tipo C), el cual se usará en la tesis anexada a este documento.

Espero recibir la respuesta en el menor tiempo posible

Atentamente, reciba un cordial saludo.

Bach. Will Diego Mauricio Lara Sánchez

diego\_ls\_27@hotmail.com



---

Asesor  
Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

## ANEXO 6: Ficha Técnica de aditivo acelerante de fragua MasterSet AC534:



We create chemistry

3

03 30 00

Concreto colado in situ

03 40 00

Concreto prefabricado

# MasterSet® AC 534

## Aditivo acelerante

### Descripción

MasterSet® AC 534 es un aditivo líquido patentado y listo para su uso, formulado para acelerar el tiempo de fraguado y para incrementar las resistencias iniciales del concreto. MasterSet® AC 534 no contiene cloruro de calcio y fue formulado para cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 494/C 494M para aditivos acelerantes Tipo C.

### Usos recomendados

- Concreto reforzado, prefabricado, bombeado, fluido, de peso ligero o normal, concreto lanzado vía húmeda
- Concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado
- Concreto preesforzado
- Construcción con concretos de resistencia rápida
- Concreto sujeto a restricciones de exposición a ión cloruro
- Concreto 4x4™
- Concreto permeable

### Características

- Acelera el tiempo de fraguado a través de un amplio rango de temperaturas
- Aumento de la resistencia inicial a la compresión y a flexión

### Beneficios

- Reduce el tiempo de acabado de losas, disminuyendo el costo de mano de obra
- Reduce los costos del concreto colocado in situ
- Reduce o elimina el tiempo de curado a vapor y protección en clima frío
- Descimbrado y reutilización de cimbras en menor tiempo
- Características de acabado superiores para superficies planas y cimbradas

### Desempeño

**Datos de la mezcla:** 269 kg/m<sup>3</sup> (453 lb/yd<sup>3</sup>) de cemento tipo I; 74 - 100 mm (3 - 4 in) revenimiento; temperatura del concreto 23°C (74°F); temperatura ambiente entre 10 y 24°C (50 y 75°F); concreto sin aire incluido.

#### Tiempo de Fraguado @10°C (50°F)

	Fraguado inicial (h:min)	Diferencia (h:min)
Normal	13:44	Ref.
Aditivo MasterSet® AC 534		
1,300 ml/100 kg (20 fl oz/cwt)	7:11	-6:33
2,600 ml/100 kg (40 fl oz/cwt)	6:05	-7:39

#### Tiempo de fraguado @ 24°C (75°F)

	Fraguado inicial (h:min)	Diferencia (h:min)
Normal	8:18	Ref.
Aditivo MasterSet® AC 534		
1,300 ml/100 kg (20 fl oz/cwt)	4:59	-3:19
2,600 ml/100 kg (40 fl oz/cwt)	4:18	-4:00

**MASTER®**  
**» BUILDERS**  
SOLUTIONS

## MasterSet® AC 534

## Hoja Técnica

### Recomendaciones de uso

**Dosificación:** Se recomienda un rango de dosificación para MasterSet® AC 534 de 0.65 a 2.9 L/100 kg (10-45 fl oz/cwt) de material cementicio para la mayoría de las mezclas de concreto que usen materiales convencionales. Debido a las variaciones en las condiciones de la obra y de los materiales de concreto, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, entre en contacto con su representante de ventas BASF.

La dosificación máxima de MasterSet® AC 534 en las aplicaciones de estructuras que contengan agua potable, para aplicaciones que requieran uso de productos con certificación NSF, es de 2.0 L/kg (30 fl oz/cwt) de material cementicio. Para mezclas de concreto especiales como las del concreto 4x4, se pueden requerir dosificaciones de hasta 6.5 L/100 kg (100 fl oz/cwt).

### Consideraciones

**No corrosivo, no contiene cloruros:** MasterSet® AC 534 no iniciará o promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto.

**Compatibilidad:** MasterSet® AC 534 puede usarse en combinación con otros aditivos de BASF, cada uno deberá dosificarse a la mezcla en forma separada.

### Almacenamiento y manejo

**Temperatura de almacenamiento:** MasterSet® AC 534 debe almacenarse a temperatura por encima del punto de congelación. Si MasterSet® AC 534 llega a congelarse, descongele a 2°C (35°F) o a una temperatura mayor y homogeneice el producto por completo con una agitación mecánica ligera. **No use aire presurizado para agitar.**

**Vida útil:** MasterSet® AC 534 tiene una vida útil mínima de 18 meses. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor que la estipulada. Por favor entre en contacto con su representante de ventas de BASF para obtener recomendaciones en relación a uso y dosificación adecuados en caso de que el producto haya excedido su vida útil.

### Presentación

MasterSet® AC 534 se suministra en tambores de 200 L (53 gal), totes de 1,000 L (264 gal) y a granel.

### Documentos Relacionados

Hoja de Datos de Seguridad (HDS): MasterSet® AC 534

### Información adicional

Para obtener información adicional sobre el aditivo MasterSet® AC 534 o su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características de desempeño especiales, entre en contacto con su representante de ventas de BASF.

Asegúrese de que está utilizando la versión actualizada de la ficha técnica del producto y HDS, visite [master-builders-solutions.com.mx](http://master-builders-solutions.com.mx) para consultar la versión más reciente.

La aplicación adecuada del producto es responsabilidad del usuario. Las visitas de campo del personal de BASF tienen como único propósito el hacer recomendaciones técnicas y no el de supervisar o proporcionar control de calidad en la obra.

## ANEXO 7: Ficha Técnica de aditivo acelerante de fragua Chema 3:

Hoja Técnica	
<b>CHEMA 3</b>	
Acelerante de fragua para mortero y concreto	
V.012016	
 <p><b>Chema</b> Calidad que Construye</p>	
<b>.DESCRIPCIÓN</b>	<p><b>CHEMA 3</b> es un acelerante de fragua para mortero y concreto que puede ser empleado tanto en climas normales como bajo cero grados centígrados. No contiene cloruros, trabaja además como un inhibidor de corrosión del fierro de refuerzo. Su efecto como acelerante de fragua o anticongelante se hace más notorio a temperaturas más bajas. Este aditivo protege el concreto en su estado fresco de congelarse.</p> <p>Su efecto es sobre toda mezcla de mortero y concreto, tanto con cementos Portland tipo I y tipo V, puzolánicos. <b>CHEMA 3</b> es un producto adecuado a la norma ASTM C-494 y es muy resistente a las sales y sulfatos.</p>
<b>VENTAJAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite lograr altas resistencias iniciales en el concreto, ahorrándose tiempo de espera para desencofrar estructuras o elementos prefabricados.</li> <li>- Permite abrir el tránsito en pisos o losas de concreto.</li> <li>- Al ser anticongelante evita que los morteros y concretos se malogren por las bajas temperaturas.</li> <li>- Reduce los costos de construcción al reducir los tiempos de espera.</li> <li>- Mayor trabajabilidad.</li> </ul>
<b>USOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para vaciados en cualquier clima, donde se requiere obtener una fuerza a la compresión del concreto en menor tiempo.</li> <li>- Para desencofrar en menor tiempo estructuras de concreto armado.</li> <li>- En vaciados de concreto a baja temperatura o donde se espera una helada; fraguará el concreto en la mitad del tiempo a pesar de la baja temperatura funcionando a la vez como anticongelante.</li> <li>- Para reparaciones económicas y con rápida puesta en servicio.</li> <li>- Para vaciados en terrenos sulfurosos.</li> <li>- Para elementos de concreto pre fabricados.</li> <li>- Para morteros y concretos con altas resistencias iniciales Para morteros de inyección.</li> <li>- Para morteros de anclaje con altas resistencias mecánicas.</li> <li>- Para vaciados en zonas con aguas subterráneas, superficiales.</li> </ul>
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<p>Color: Amarillo</p> <p>Apariencia: Líquido</p> <p>Ph: 8.0 – 11.0</p> <p>Densidad: 1.17 ± 0.01 gr/ml</p> <p>VOC: 0 gr. / lt.</p>
<b>PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mezclar el <b>CHEMA3</b> en el agua de amasado al momento en que prepare la mezcla. (Ver ítem de Rendimiento)</li> <li>2. La relación a/c recomendada máxima deberá ser 0.45 o se debe reducir hasta en 10% la cantidad de agua.</li> </ol>
 <p><b>CETOX</b> CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. 273-2318 / 999012933</p>	
<p><b>ATENCIÓN AL CLIENTE:</b> <b>(511) 336-8407</b></p>	
Página 1 de 2	



**Chema**<sup>®</sup>

*Calidad que Construye*

Hoja Técnica

# CHEMA 3

Acelerante de fragua para mortero y concreto

V.012016

---

<b>RENDIMIENTO</b>	Utilizar según su necesidad, una de las siguientes dosificaciones de acuerdo al clima y tiempos requeridos: <ul style="list-style-type: none"><li>- REDUCIDA: 500 ml (1/2 Litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado).</li><li>- NORMAL: 750 ml (3/4 Litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado).</li><li>- SUPERIOR: 1,000 ml (1 litro) x bolsa de cemento (en el agua de amasado).</li></ul> <p>La dosis como porcentaje es 1.20 % a 4% del peso del cemento.</p>
--------------------	---

---

<b>PRESENTACIÓN</b>	Envase de 1 gal. (Código: 09003004) Envase de 5 gal. (Código: 09005005) Envase de 55 gal. (Código: 09003055)
---------------------	--

---

<b>ALMACENAMIENTO</b>	De almacenarse en un lugar fresco, ventilado y sellado bajo techo el tiempo de vida útil será de 2 años.
-----------------------	--

---

<b>PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<p>Curar bien los elementos sobre todo desde el primer día hasta el 7<sup>mo</sup> día. Mejor si se usa curador de membrana CHEMA, el cual se aplica en cuanto haya desaparecido la exudación.</p> <p>En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. No comer ni beber mientras manipula el producto. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados. En caso de contacto con los ojos y la piel, lávelos con abundante agua. Si es ingerido, no provocar vómitos, procurar ayuda médica inmediata.</p>
---------------------------------------	--

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

**CETOX**  
CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C.  
273-2318 / 999012933

**ATENCIÓN AL CLIENTE:**  
**(511) 336-8407**

Página 2 de 2

**ANEXO 8: Ficha Técnica de aditivo acelerante de resistencias Sika Rapid-1:**



BUILDING TRUST

## HOJA TÉCNICA

# SikaRapid®-1

---

Acelerante de Resistencias Iniciales Libre de Cloruros.

---

<b>DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO</b>	<p>Es un aditivo líquido, acelerante de resistencias iniciales libre de cloruros para concretos y morteros. Acelera el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales aumentando las resistencias finales. SikaRapid®-1 cumple los requisitos de un aditivo acelerado de endurecimiento, sin efectos secundarios no deseados</p> <p><b>USOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concreto para rápida puesta en servicio.</li> <li>▪ Concreto curado al vapor.</li> <li>▪ Concreto en tiempo frío.</li> <li>▪ Concreto prefabricado.</li> <li>▪ Desencofrado rápido.</li> </ul> <p><b>CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Acelera el proceso de endurecimiento.</li> <li>▪ Alta resistencia temprana a temperaturas entre 5 °C y 30 °C en concreto.</li> <li>▪ No induce a corrosión de armaduras.</li> <li>▪ Compatible con los productos Plastiment®, Sikament®, Sika®ViscoCrete.</li> <li>▪ Permite tiempo suficiente para la colocación del concreto.</li> <li>▪ Estable a temperaturas entre -5 °C y 40 °C.</li> <li>▪ No tóxico para su manipulación ni para el ambiente.</li> </ul>
---------------------------------	--

---

**DATOS BÁSICOS**

<b>FORMA</b>	<p><b>COLORES</b> Marrón claro a oscuro</p> <p><b>ASPECTO:</b> Líquido</p> <p><b>PRESENTACIÓN</b> Paquete de 4 envases PET x 4 Litros Cilindro x 180 Litros</p>
--------------	---

---

<b>ALMACENAMIENTO</b>	<p><b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Al menos 1 año en sus envases originales bien cerrados y no deteriorados, al resguardo del sol y las heladas.</p>
-----------------------	---

Hoja Técnica  
SikaRapid®-1  
22.01.15, Edición 10

1/3

#### DATOS TÉCNICOS

##### DENSIDAD

1.27 kg/L  $\pm$  0.01

##### USGBC VALORACIÓN LEED

SikaRapid®-1 cumple con los requerimientos LEED.

Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.

Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

#### INFORMACIÓN DEL SISTEMA

##### DETALLES DE APLICACIÓN

##### CONSUMO / DOSIS

SikaRapid®-1 se utilizado en un rango 3.9 cm<sup>3</sup> a 23.6 cm<sup>3</sup> por kilogramos de cemento. Para cementos con adiciones se deberá hacer pruebas.

##### MÉTODO DE APLICACIÓN

##### MODO DE EMPLEO

SikaRapid®-1 se utiliza en dosis entre 3.9 cm<sup>3</sup> a 23.6 cm<sup>3</sup> por kilogramos de cemento.

Se recomienda realizar ensayos previos para determinar la dosis exacta según el objetivo deseado, considerando el contenido de cemento, la temperatura y el efecto de otros aditivos incluidos en la dosificación.

SikaRapid®-1 se agrega diluido en el agua de amasado de la mezcla.

También puede añadirse al camión concreto en obra, en este caso, realizar obligatoriamente un amasado suplementario de 1 minuto por metro cúbico de concreto. Antes de su colocación, debe verificarse visualmente la consistencia correcta del concreto.

Cuando utilice SikaRapid®-1 deben respetarse las reglas generales para la fabricación y colocación del concreto. Debe prestar se atención especial al curado del concreto, sobre todo a primeras edades y con bajas temperatura. Se recomienda que la temperatura de la masa del concreto no sea inferior a 5 °C al momento de colocar el molde o encofrado.

##### IMPORTANTE

En caso de peligro de hielo, deben tomarse las precauciones correspondientes hasta que el concreto haya alcanzado una resistencia al congelamiento suficiente (100 kg/cm<sup>2</sup>). El efecto de SikaRapid®-1 puede variar en función del tipo de cemento y la temperatura del concreto fresco. En el caso de que SikaRapid®-1 se hubiese congelado, puede volver a utilizarse sin pérdidas de sus propiedades, deshelándolo lentamente y agitándolo intensamente antes de su empleo.

SikaRapid®-1 se puede combinar con todos los fluidificantes y superplastificantes de Sika, sin embargo es recomendable la realización de ensayos previos.

Para cualquier información adicional consultar con nuestro departamento técnico.

#### INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

##### PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

Hoja Técnica  
SikaRapid®-1  
22.01.15, Edición 10

2/3

BUILDING TRUST



## ANEXO 9: Ficha Técnica del cemento portland Tipo Ico:



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000

G-CC-F-04  
Versión 03

### CEMENTO EXTRAFORTE

Cemento Portland Compuesto Tipo ICo  
Conforme a la NTP 334.090  
Piura, 21 de Septiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	1.3	Máximo 6.0
SO3	%	1.99	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	6	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.065	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	5020	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.00	NO ESPECIFICA

**Resistencia Compresión :**

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	24.1 (245)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	28.3 (288)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	32.4 (330)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

**Tiempo de Fraguado Vicat :**

Fraguado Inicial	min	111	Mínimo 45
Fraguado Final	min	260	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.



**Ing. Ysabel Burneo Miranda**  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

## ANEXO 10: Costo del cemento portland tipo Ico en tienda Maestro

MAESTRO

Buscar productos Q

Fonocompras: **6310-310**  
 Síguenos en:

PRODUCTOS
HAZLO CON MAESTRO
TIENDAS
TALLERES
CATÁLOGO
REGÍSTRATE

CATEGORÍAS

Maestro / Productos / Obra Gruesa / Aridos Y Aglomerados / Cemento



### CEMENTO PACASMAYO TICO EXTRAF

Cemento Extraforte Pacasmayo

Ver precio y stock por Tienda:

Provincias ▾

Trujillo ▾

**S/ 22.60**

sku: 1132792

Stock: 992

Precios y stock actualizados el 15/01/2018 7:15am  
 Precios referenciales y sujetos a variaciones.  
 Stock sujeto a disponibilidad de cada tienda. Consultar precio y stock en tienda.  
 Imágenes referenciales, los productos no incluyen accesorios excepto lo indicado en la descripción del producto.

CATEGORÍAS

- AUTO +
- BAÑOS Y COCINAS +
- COMUNICACIÓN Y ELECTRÓNICA +
- ELECTRICIDAD +
- FERRETERÍA +
- FIERRO Y HIERRO +
- GASFITERÍA +
- HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS +
- ILUMINACIÓN +

**ANEXO 11: Costo de hora hombre y día hombre en edificación.**

ITEM	CONCEPTO	CATEGORIA		
		OPERARIO	OFICIAL	PEON
1.00	REMUNERACIÓN BASICA VIGENTE (vigente del 2017-06-01 al 2018-05-31)	64.3	52	46.5
2.00	BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (vigente del 2017-06-01 al 2018-05-31)	19.29	15.6	13.95
3.00	LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB (112.97%)	72.64	58.74	52.53
4.00	LEYES Y BENEFICIOS SOBRE EL BUC (12%)	2.31	1.87	1.67
5.00	BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD ACUMULADA	7.2	7.2	7.2
6.00	OVEROL (2 und. anuales)	0.4	0.4	0.4
<b>COSTO DIA HOMBRE (DH) S/.</b>		<b>166.14</b>	<b>135.81</b>	<b>122.25</b>
<b>COSTO HORA HOMBRE (HH) S/.</b>		<b>20.77</b>	<b>16.98</b>	<b>15.28</b>

## ANEXO 12: Normativa utilizada en el desarrollo experimental

---

NORMA TÉCNICA	NTP 400.012
PERUANA	2013

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

### AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

2013-01-16  
3ª Edición

---

R.0006-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2013-02-01 Precio basado en 15 páginas  
I.C.S.: 91.100.30 ESTA NORMA ES RECOMENDABLE  
Descriptor: agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis  
granulométrico

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.185**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para  
contenido de humedad total evaporable de agregados por  
secado**

**AGGREGATES. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying**

R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 08 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Agregados, secado, contenido de humedad

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES E COMERCIO CALVARO CORREA S.A. SUCURSAL PERU

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.021**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso  
específico y absorción del agregado grueso**

AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate

R.0048-2002/INDECOPI-CRT Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 06 páginas

TC.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: absorción, agregado, agregado grueso, peso específico

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.022**

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.017**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI  
Calle De La Prosa 136, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso  
unitario del agregado**

**AGGREGATE. Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate**

R.0021-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-04-29

Precio basado en 10 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Hormigón, Método de ensayo, Probetas cilíndricas, curado de la probeta

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 400.037**

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

---

**AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para  
agregados en hormigón (concreto)**

AGGREGATES. Standard specification for concrete aggregates

R.0013-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-02-27

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Agregados, hormigón, requisitos

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCTORES E COMERCIO CAMARDO CORREA S.A. BUENOS AIRES PERU

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.035  
2009**

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias • INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

## HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland

CONCRETE. Standard test method for measure slump of Portland cement concrete

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 143/C143-2008 Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. •Reimpreso por autorización de ASTM International

**2009-12-23  
3ª Edición**

R.034-2009/INDECOPI-CNB. Publicada el 2010-02-20

Precio basado en 09 páginas

I.C.S.: 91.100.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Concreto, cono, consistencia, plasticidad, asentamiento, trabajabilidad

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

**NTP 339.082  
2011**

---

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI  
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

## CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración

CONCRETE. Standard test method for determine Time of Setting of Concrete by Penetration Resistance

**2011-09-28**  
**3ª. Edición**

R.0041-2011/CNB-INDECOPI. Publicada el 2011-10-09

Precio basado en 20 páginas

I.C.S.:91.100.10

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: hormigón (concreto); mortero, resistencia a la penetración; tiempo final de fraguado; tiempo inicial de fraguado

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.033  
2015**

---

Dirección de Normalización • INACAL  
Calle Las Camelias 815, San Isidro (Lima 27)

Lima, Perú

---

## **CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo**

Concrete Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INACAL, está basada en la Norma ASTM C 31/C31M:2012 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. •Reimpreso por autorización de ASTM International

**2015-12-22**

**4ª Edición**

R.Nº015-2015-INACAL/DN. Publicada el 2015-12-31

Precio basado en 17 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Vigas, concreto, curado

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.037  
2008**

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias • INDECOPI  
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

---

## **HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto)**

CONCRETE. Standard practice for capping cylindrical concrete specimens

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C617 • 98(2003) Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. •Reimpreso por autorización de ASTM International

**2008-09-03  
3ª Edición**

R.005-2008/INDECOPI-CNB. Publicada el 2008-09-26

Precio basado en 13 páginas

I.C.S.: 91.100.30

**ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptor: Hormigón (concreto), práctica normalizada, refrentado, testigos cilíndricos.

---

**NORMA TÉCNICA  
PERUANA**

---

**NTP 339.034  
2015**

---

Dirección de Normalización • INACAL  
Calle Las Camelias 815, San Isidro (Lima 27)

Lima, Perú

---

## CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas

Concrete Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INACAL está basada en la Norma ASTM C 39/C 39M:2015 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. •Reimpreso por autorización de ASTM International

**2015-12-22**  
**4ª Edición**

R.Nº015-2015-INACAL/DN. Publicada el 2015-12-31

Precio basado en 19 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Hormigón, concreto, resistencia a la compresión, muestras cilíndricas

**NORMA  
TÉCNICA  
GUATEMALTECA**

**COGUANOR  
NTG 41070**

---

**Aditivos químicos para concreto. Especificaciones**

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma  
ASTM C494-05, la cual fue revisada con el conocimiento y  
experiencia de los integrantes del CTN de Concreto.

---

*Adoptada Consejo Nacional de Normalización:*



Edificio Centro Nacional de Metrología Referencia  
Calzada Atanasio Azul 27-32, zona 12  
Teléfonos: (502) 2247-2600  
Fax: (502) 2247-2687  
[www.mineco.gob.gt](http://www.mineco.gob.gt)  
[info-coguanor@mail.mineco.gob.gt](mailto:info-coguanor@mail.mineco.gob.gt)

**ANEXO 13: Certificado de calibración de balanza electrónica.**

**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**MT - LM - 203 - 2017**

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>17086</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>3. Dirección</b>	Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Capacidad Máxima	<b>4100 g</b>	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
División de escala (d)	<b>0,01 g</b>	
Div. de verificación (e)	<b>0,1 g</b>	
Clase de exactitud	<b>II</b>	
Marca	<b>OHAUS</b>	
Modelo	<b>PAJ4102</b>	
Número de Serie	<b>8332050515</b>	
Capacidad mínima	<b>0,50 g</b>	
Procedencia	<b>U.S.A.</b>	
Identificación	<b>1-011843 (*)</b>	
Ubicación	<b>LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2017-04-26</b>	

Fecha de Emisión

2017-04-28

Jefe del Laboratorio de Metrología



JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.  
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ  
Telf.: (511) 540-0642  
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282  
RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com  
ventas@metrologiatecnicas.com  
WEB: www.metrologiatecnicas.com

**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**MT - LM - 203 - 2017**

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Masas*

Página 2 de 4

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

**7. Lugar de calibración**

LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.  
Urb. Dean Saavedra Mz. G Lt. 24 San Isidro - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	27,4 °C	27,4 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

**9. Patrones de referencia**

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS (Clase de Exactitud: F1)	INACAL LM-C-535-2016
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-317-2016 / LM- 491-2016.	PESAS (Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-0774-2016
PESAS (Clase de exactitud F2) DM-INACAL LM-414-2016.		

**10. Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



*Metrología & Técnicas S.A.C.*  
*Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ*  
*Telf.: (511) 540-0642*  
*Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282*  
*RPM: \*849272 / #971439282 / #942635342*

*email: metrologia@metrologiatecnicas.com*  
*ventas@metrologiatecnicas.com*  
*WEB: www.metrologiatecnicas.com*

# METROTEC

## METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### MT - LM - 203 - 2017

Página 3 de 4

#### 11. Resultados de Medición

##### INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

##### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial Final  
27,4 °C 27,4 °C

Medición Nº	Carga L1 = 2 000,01 g			Carga L2 = 4 000,01 g		
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	2 000,01	5	0	4 000,01	6	-1
2	2 000,01	5	0	4 000,01	6	-1
3	2 000,01	6	-1	4 000,02	6	9
4	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10
5	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10
6	2 000,01	5	0	4 000,02	6	9
7	2 000,02	6	9	4 000,02	6	9
8	2 000,01	5	0	4 000,02	6	9
9	2 000,01	6	-1	4 000,02	5	10
10	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10
	Diferencia Máxima		10	Diferencia Máxima		11
	Error Máximo Permissible		± 300	Error Máximo Permissible		± 300

##### ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición  
de las  
cargas

Temperatura Inicial Final  
27,4 °C 27,4 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec					
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1	0,10 g	0,10	5	0	1 300,00	1 300,00	5	0	0	
2		0,10	5	0		1 300,02	6	19	19	
3		0,10	5	0		1 300,01	6	9	9	
4		0,10	5	0		1 300,00	5	0	0	
5		0,10	5	0		1 299,99	5	-10	-10	
* Valor entre 0 y 10e									Error máximo permisible	± 200



**METROTEC**

**METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.**

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

**MT - LM - 203 - 2017**

Área de Metrología

Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

**ENSAYO DE PESAJE**

	Inicial	Final
Temperatura	27,4 °C	27,4 °C

Carga L ( g )	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** ( ± mg )
	l (g)	ΔL ( mg )	E ( mg )	Ec ( mg )	l (g)	ΔL ( mg )	E ( mg )	Ec ( mg )	
0,10	0,10	5	0						
0,50	0,50	5	0	0	0,51	5	10	10	100
1,00	1,00	5	0	0	1,00	6	-1	-1	100
10,00	10,00	6	-1	-1	10,01	7	8	8	100
50,00	50,00	6	-1	-1	50,01	7	8	8	100
100,00	100,00	6	-1	-1	100,01	7	8	8	100
500,00	500,01	7	8	8	500,01	6	9	9	200
1 000,00	1 000,01	7	8	8	1 000,01	6	9	9	200
2 000,00	2 000,02	6	19	19	2 000,01	8	7	7	300
3 000,00	3 000,02	7	18	18	3 000,02	8	17	17	300
4 100,01	4 100,02	7	8	8	4 100,02	7	8	8	300

\*\* error máximo permisible

**Legenda:** L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E<sub>0</sub>: Error en cero.  
l: Indicación de la balanza. E: Error encontrado. E<sub>c</sub>: Error corregido.

**Incertidumbre expandida de medición**  $U = 2 \times \sqrt{ ( 0,0000485 \text{ g}^2 + 0,000000000230 \text{ R}^2 ) }$

**Lectura corregida**  $R_{CORREGIDA} = R + 0,00000864 R$

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



**ANEXO 14: Certificado de calibración de máquina de compresión.**

<b>CONTROLS</b>		<b>VERIFICA MACCHINA DI COMPRESSIONE COMPRESSION TESTING MACHINE</b>				<b>CERT.Nr. 5035/2016</b>		
Cliente <i>Client</i>		GEOMECANICA LATINA		Indirizzo <i>Site address</i>				
Costruttore <i>Costomer</i>	CONTROLS	Modello <i>Model</i>	P0375 T1182	Matricola <i>Serial no</i>	16005809 16000467	Carico max <i>Max Load</i>	50kN	
Carico misurato con- Indicat. Manometrico - Dispay dig. - Altri -		Load measured by <i>Manometer indicator</i> <i>Digital dis.</i> <i>Others</i>	Scala-Ranges 0-50kN	Risol.-Resol. 0,001	Carico min.ver.- 4kN	Mat.-Serial no. 16000467		
Verificata con- Dinamometri electr. - Centralina digitale- Manometri- Anelli di prova-		Verified with <i>Force transducer</i> <i>Digital electronic tester</i> <i>Manometers</i> <i>Proving rings</i>	Scala-Ranges 0-50 kN	Certificato n°- Bon-50/16 Bon-50/16	Valid.-Validity gen-17 gen-17	Mat.-Serial no. A.40.01.002 A.40.02.008		
Verificata secondo Conform to		L.Q.P1 rev.2		Carico ver. da Load verified from			4 kN a to	50kN
Forza Load kN		Uscite centralina (divisioni) Output digital electronic tester (division) Ciclo-Cycles 1    Ciclo-Cycles 2    Ciclo-Cycles 3			Temperatura Temperature		20 °C °C	
0	0	0	0	0	<b>Memo</b> Calcolo forze misurate/Calculation of measured forces $F_i = C + D \cdot (U_i - U_0) + E \cdot (U_i - U_0)^2 + F \cdot (U_i - U_0)^3$ Accuratezza/Accuracy    Ripetibilità/Repeatability $A_i = \frac{F_i - M_i}{M_i} \cdot 100$ $R_i = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{M_i} \cdot 100$ $M_i = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$			
4	16421	16410	16412					
6	24631	24600	24607					
8	32850	32783	32832					
10	41067	40978	40961					
20	82144	82004	81984					
30	123375	123274	123234					
40	164850	164737	164669					
50	207047	206680	206997					
F <sub>n</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	Max				
Zero	0	0	0	0				
<b>ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION</b>								
Coefficients dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation								
C = 0,00000E+00		D = 2,43080E-04		E = 1,46181E-11		F = -1,04130E-16		
Forza Load kN	Forze Misurate Load measured			Media Media	Err. Accurat. Accuracy err.	Err. Ripetibilità Repeatab. err.	Risoluzione Resolution	
	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	kN	%	%	%	
0	0,0	0,0	0,0	0,0				
4	3,995	3,992	3,993	3,993	0,16	0,07	0,03	
6	5,995	5,987	5,989	5,990	0,16	0,13	0,02	
8	7,997	7,981	7,993	7,990	0,12	0,20	0,01	
10	10,000	9,978	9,974	9,984	0,16	0,26	0,01	
20	20,009	19,974	19,970	19,984	0,08	0,19	0,01	
30	30,017	29,993	29,983	29,997	0,01	0,11	0,00	
40	40,003	39,975	39,959	39,979	0,05	0,11	0,00	
50	50,031	49,945	50,020	49,999	0,00	0,17	0,00	
F <sub>n</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	M	A	R		
<b>LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES</b>								
Classe-Class	Err. accurat. Accuracy err.	Err. ripetibilità Repeatab. err.	Ritorno a 0 Zero error	Risoluzione Resolution				
	%	%	% F.S.	%				
1	1	1	0,2	0,5				
2	2	2	0,4	1				
Campo di misura - Range	Da - From 4 kN			a - to 50kN				
	0,16	0,26	0,00	0,03	Classe assegnata		1	
Campo di misura - Range	Da - From			a - to				
Classe assegnata								
Data - Date	Firma collaudatore - Operator signature			Verificata da - Verified by				
14-lug-16	