

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad en Ciencias de la Tierra**

Variabilidad del tiempo de fraguado del hormigón debido a la mezcla de aditivos retardantes y plastificantes.

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniera Civil**

Presentado por:

Ariana Anabelle Alejandro Vera

Ana Paula Costa Alume

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a nuestro Padre Celestial, quien nos provee de fuerzas y entendimiento cada día para ser enteramente competentes.

Al equipo de trabajo del Centro de Innovación de Hormigón, por su apertura e invaluable colaboración al presente trabajo.

A nuestra tutora Msc. Samantha Hidalgo, por su enriquecedora guía profesional que nos permitió ampliar y profundizar nuestros conocimientos.

Ana Paula Costa Alume

Ariana Anabelle Alejandro Vera

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por escucharme y guiarme a lo largo de mi vida.

A mi Mamá, quien siempre me apoya y me inspira por su fortaleza. Ella me enseña a perseverar y no temer.

A mis amigos, quienes me han dado aliento y compañía sincera durante esta etapa de mi vida.

Ana Paula Costa Alume

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi gratitud a Jehová Dios por siempre tenerme asida a su diestra aun en momentos de dificultad y debilidad.

A mis padres, hermanos y abuelos por el trabajo en conjunto que han hecho posible que llegue hasta aquí.

A los ingenieros Christian Velasco, Jacob Mosquera y Fernando Salvatierra por su gran apoyo y colaboración.

A la directiva fundadora del ACI ESPOL Student Chapter por ser promotor del desarrollo profesional.

A todas las personas que nos han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que nos abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Ariana Anabelle Alejandro Vera

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Ariana Anabelle Alejandro Vera* y *Ana Paula Costa Alume* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Ariana Anabelle  
Alejandro Vera

Ana Paula Costa Alume

# EVALUADORES

**Ph.D. Miguel Chávez Moncayo**

PROFESOR DE LA MATERIA

**Ing. Samantha Hidalgo Astudillo**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

En Guayaquil, dada las altas temperaturas, extensos trayectos de transporte y exigencias de desempeño, el hormigón requiere hasta 6 aditivos. Las dosificaciones elevadas de aditivo afectan el tiempo de fraguado. El método actual para las dosificaciones apropiadas de aditivos puede requerir hasta 5 simulaciones, consumiendo tiempo y recursos de las empresas. El objetivo del trabajo es generar una herramienta de diseño que permita determinar el tiempo de fraguado según la dosificación de plastificante y retardante utilizada.

Conforme a normativas internacionales, nacionales y procedimientos establecidos por empresa, se ejecutó el análisis calorimétrico a 64 escenarios con diversos contenidos de cemento, aditivos y relaciones agua/cemento, empleando un equipo semi-adiabático con termocuplas. Con las gráficas de temperatura, se calculó el tiempo de fraguado inicial y final. Adicionalmente se midió el flujo y la resistencia como variables de control.

Se generaron 5 nomogramas que proyectan el tiempo de fraguado inicial con relación al uso de plastificante y retardante, según el contenido de cemento y relación agua/cemento.

Se concluye que los porcentajes recomendados de aditivo deben ajustarse según el contenido de cemento en la mezcla, es decir, que en mezclas con alto contenido de cemento se requerirá un porcentaje menor de aditivo, en comparación a una mezcla con bajo contenido, para alcanzar resultados óptimos. Se observa que dosificaciones altas de plastificante prolongan el tiempo de fraguado sin afectar las resistencias finales. Empleando nomogramas se reduce el volumen de desperdicio de hormigón hasta un 60%, lo cual beneficia la empresa tanto económica como ambientalmente.

**Palabras Clave:** Tiempo de fraguado, calorimetría, aditivos, hormigón, mortero.

## **ABSTRACT**

*In Guayaquil, due to high temperatures, long travel journeys and high-performance expectations, concrete may require up to 6 admixtures. High dosage of additive extends setting time. Current methods require up to 5 simulations to determine proper admixture dosage. The aim of this investigation is to generate a design tool that determines the setting time according to the dosage of plasticizing and retarding admixtures.*

*In accordance with international, national and company procedures, calorimetric analysis was carried out on 64 scenarios with multiple dosages of cement content, admixtures and water/cement ratio by using thermocouples with a semi-adiabatic system. Based on the evolution of temperature, initial and final setting time was calculated. Additionally, flow and resistance were measured as moderator variables.*

*Five nomograms were generated. They present the initial setting time versus the use of plasticizer and retarder, according to the cement content and water/cement ratio.*

*It is concluded that the recommended percentages of additive should be adjusted according to the cement content in the mixture, meaning that high cement content mixtures a lower percentage of admixture will be required, compared to a mixture with low content, to achieve optimal results. It is observed that high plasticizer dosages prolong the setting time without affecting the final strengths. By using nomograms, the volume of concrete waste reduces up to 60%, which benefits economically and environmentally to the company.*

*Keywords: Setting time, calorimetry, admixtures, concrete, mortar*

# ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES .....	6
RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	X
CAPÍTULO 1 .....	11
1.    Introducción.....	11
1.1    Descripción del problema.....	12
1.1.1    Alternativas.....	12
1.1.2    Restricciones .....	13
1.1.3    Variables de interés .....	14
1.2    Justificación del problema .....	15
1.3    Antecedentes .....	17
1.4    Objetivos .....	18
1.4.1    Objetivo General.....	18
1.4.2    Objetivos Específicos.....	18
1.5    Marco teórico .....	19
1.5.1    Cemento .....	19
1.5.2    Aditivos.....	20
1.6    Plan de actividades .....	21

CAPÍTULO 2.....	24
2. Metodología.....	24
2.1 Caracterización del material .....	24
2.2 Preparación de mortero.....	25
2.2.1 Materiales:.....	25
2.2.2 Equipos:.....	26
2.2.3 Procedimiento:.....	26
2.3 Pruebas Calorimétricas .....	27
2.4 Flujo de mortero .....	27
2.4.1 Materiales .....	27
2.4.2 Procedimiento.....	27
2.5 Criterios de selección de escenarios .....	28
2.6 Diseño de escenarios.....	28
2.7 Resistencia a compresión .....	31
CAPÍTULO 3.....	32
3. Resultados y Análisis .....	32
3.1 Curvas calorimétricas.....	32
3.2 Correlación de fluidez del mortero con asentamiento del hormigón.....	34
3.3 Nomogramas.....	35
3.4 Relación entre plastificante y duración del fraguado.....	40
3.5 Resistencias.....	43
3.6 Impacto Ambiental.....	45
3.6.1 Antecedentes.....	45
3.6.2 Plantas de Hormigón premezclado .....	45
3.7 Análisis de Costos.....	49
CAPÍTULO 4.....	51

4.	Conclusiones y Recomendaciones .....	51
4.1	Conclusiones.....	51
4.2	Recomendaciones.....	52
	BIBLIOGRAFÍA .....	54
	APÉNDICES .....	57

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INECYC	Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Hormigón
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ASTM	American Society for Testing and Materials
ACI	American Concrete Institute
A/C	Relación Agua/Cemento

## SIMBOLOGÍA

Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo sobre metro cúbico
pH	Potencial de Hidrógeno
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
H Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramos de agua por metro cúbico de hormigón.
MPa	Mega Pascales
l	Litros

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Balanza electrónica.....	25
Figura 2-2 Molde cónico.....	25
Figura 2-3 Jarra.....	25
Figura 2-4 Batidora eléctrica.....	25
Figura 2-5 Cucharón, espátula y apisonador.....	25
Figura 2-6 Disco de vidrio.....	25
Figura 2-7 Preparación de mezcla.....	26
Figura 2-8 Moldeo de Cubos de 50x50x50mm.....	31
Figura 2-9 Escenario 29 a 24 horas del moldeo.....	31
Figura 2-10 Curado.....	31
Figura 2-11 Rotura de Cubos.....	31
Figura 2-12 Escenario 23 a 24 horas.....	31
Figura 2-13 Resultado del Escenario 23 a 24 horas.....	31
Figura 3-1 Ciclo del agua del hormigón.....	46
Figura 3-2 Inventario de Agua para la producción del hormigón.....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Variables Controladas .....	14
Tabla 2-1 Granulometría Muestra 1 .....	24
Tabla 2-2 Dosificaciones de diseños de 450kg/m <sup>3</sup> a 2 litros de mortero .....	29
Tabla 2-3 Dosificaciones de diseños de 350kg/m <sup>3</sup> a 2 litros de mortero .....	29
Tabla 2-4 Dosificaciones de diseños de 250kg/m <sup>3</sup> a 2 litros de mortero .....	30
Tabla 3-1 Tiempos de fraguado para las pruebas del 1 al 3 .....	32
Tabla 3-2 Correlación de fluidez aparente .....	34
Tabla 3-3 Frecuencia de Tiempo de fraguado .....	40
Tabla 3-4 Desarrollo porcentual de las resistencias .....	43
Tabla 3-5 Volumen de agua de mezcla reducible para un caso crítico .....	47
Tabla 3-6 Volumen de desechos de hormigón reducibles para un caso crítico .....	49
Tabla 3-7 Precios por Volumen .....	49
Tabla 3-8 Comparación de costos .....	50
Tabla 3-9 Proyección Anual de costos .....	50

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-1 Volumen de Diseños acorde al número de aditivos. ....	16
Gráfica 3-1 Curvas calorimétricas para distintos contenidos de cemento .....	33
Gráfica 3-2 Curvas Calorimétricas para los Escenarios del 1 al 3 .....	33
Gráfica 3-3 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 450 kg/m <sup>3</sup> , A/C 0.35. ....	35
Gráfica 3-4 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 450 kg/m <sup>3</sup> , A/C 0.45. ....	36
Gráfica 3-5 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 350 kg/m <sup>3</sup> , A/C 0.45. ....	37
Gráfica 3-6 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 350 kg/m <sup>3</sup> , A/C 0.35. ....	38
Gráfica 3-7 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 250 kg/m <sup>3</sup> , A/C 0.55. ....	39
Gráfica 3-8 Frecuencia de dosificación de Plastificante según Tiempo de Fraguado ...	41
Gráfica 3-9 Frecuencia de Contenido de Cemento en relación con el Tiempo de Fraguado .....	42
Gráfica 3-10 Desarrollo de las Resistencias .....	44

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo a continuación aporta al uso de aditivos en el hormigón con el objeto de potenciar sus propiedades, economizar y ser eficiente en el uso de equipos requeridos para su colocación. En el Ecuador, el predominante uso de hormigón responde al balance entre durabilidad, economía y practicidad. Sus componentes abundan caracterizándolo como un material de rápido acceso, además se adapta fácilmente al diseño de la obra sin menguar su alta resistencia a la compresión y al fuego. Según los datos más recientes del INECYC el país comercializó 6'032.356 toneladas métricas de cemento gris en el 2012, de esto solo en las provincias de Pichincha y Guayas se distribuyó 2'546.327 toneladas métricas, lo cual representa el 42.21% del consumo nacional. Estos valores señalan que la continua investigación en el campo de este material de construcción es necesaria con el fin de optimizar sus propiedades.

Los aditivos son sustancias químicas usadas en la pasta, mortero o en el hormigón previo o posterior al mezclado con la finalidad de dinamizar las propiedades físicas del material adecuándolo así a los menesteres de la obra o del constructor (Gerardo, 2011). Acorde al tipo de aditivo administrado se controla propiedades físicas del hormigón como resistencias tempranas, rapidez del fraguado, trabajabilidad de la mezcla, impermeabilidad, entre otras. Generalmente la cantidad del aditivo añadido a la mezcla no supera el 5% del peso del cemento. Se requiere del estudio y desarrollo de aditivos que potencien las cualidades del hormigón.

Los proveedores de aditivos para hormigones del mercado ecuatoriano encontramos Sika, Aditec, Tespecon, Euclid, Cortec entre otros. Cada aditivo dispone de una ficha técnica que indica la función del producto, norma de diseño, dosificación recomendable, propiedades físicas y advertencias dependiendo del proveedor. Sin embargo, no hay información que indique el desempeño de los aditivos al usar más de uno en una mezcla de hormigón, estos datos se obtienen empíricamente por ensayos de laboratorio.

## **1.1 Descripción del problema**

Los aditivos disponen de una ficha técnica que señalan la dosificación máxima y mínima conforme al tipo de aditivo, sin embargo, en caso de requerir la dosificación de más de un aditivo (ej. Retardantes y plastificantes) el valor máximo de dosificación ya no es aplicable y puede conducir a que la mezcla de hormigón presente inconvenientes como exudación, segregación, pérdida de resistencia o retardo no planificado del fraguado. Las dosificaciones para este tipo de mezcla se generan empíricamente acorde a la experiencia del proveedor de mezclas de hormigón sin el respaldo de un estudio académico. La ejecución continua de ensayos para establecer dosificaciones óptimas demanda tiempo y recursos de la empresa. Conjuntamente se pueden presentar complicaciones en obra debido a errores de cálculo en la mezcla de aditivos o errores técnicos en los cuales la proporción de aditivo agregado a la mezcla es mayor a la necesaria. En estos casos se precisa dictar ágilmente si el lote de hormigón generado es útil para el proyecto o si debe ser considerado como desperdicio, lo cual no da tiempo a generar ensayos de laboratorio.

Por lo anteriormente escrito se dedica este trabajo al estudio del comportamiento de morteros cuya mezcla contenga entre dos o tres aditivos de uso común en una planta de hormigón premezclado. Se busca analizar los efectos inmediatos en la mezcla de mortero fresco y endurecido en escenarios específicos que cumplan con criterios de trabajabilidad y tiempo de fraguado.

### **1.1.1 Alternativas**

Para este estudio, es posible realizarlo a través de tres tipos de muestras: hormigones, morteros y pastas. Los criterios para escoger la alternativa más propicia son: Trabajabilidad, economización de recursos, generación de desperdicios y control de temperatura. Se considera ejecutar 50 escenarios en los que se evalúa resultados de trabajabilidad, calorimetría y resistencias a la compresión, siendo las dos últimas variables de control.

#### **1.1.1.1 Hormigón**

Para las pruebas en hormigón, según la ASTM C172/C172M-17, se requieren 28 litros para el moldeo de 8 cilindros de 100x200mm a

ser ensayados a los días 1, 3, 7 y 28 como se especifica en la ASTM C39/C39M-18. Como consecuencia se requiere cerca de 2 m<sup>3</sup> de materiales para una proyección de 50 escenarios. El tiempo de fraguado se determina según la ASTM C403/C403M -16, y los resultados se obtienen en 8 horas, esto significa que la recolección de datos tomaría 70 días. Además, los ensayos de trabajabilidad que van de acuerdo con la ASTM C143/C143M -15<sup>a</sup>, indican que después de medir el asentamiento, el material utilizado debe ser descartado, traduciéndose en un 55% de muestra inmediatamente desechada.

#### **1.1.1.2 Mortero**

Esta alternativa presenta la ventaja de requerir 86% menos volumen de material para los 50 escenarios estudiados en comparación a la mezcla de hormigón, traduciéndose en la alternativa más económica y con menor generación de desperdicios. Los ensayos requieren la mitad del tiempo para su ejecución. El cliente tiene equipos normados para generar datos para trabajabilidad distintos a la mesa de flujo según ASTM C230. Adicionalmente el cliente cuenta con calorímetro que le permite obtener los tiempos de fraguado de una muestra tamizada en el N<sup>o</sup>4.

#### **1.1.1.3 Pasta**

Los ensayos con pasta no son representativos para la finalidad de este estudio, pues el propósito de ensayar pastas es determinar las propiedades del cemento. Por ejemplo, la ASTM C807-18 tiene como objetivo el establecer si el cemento cumple con los tiempos límite de fraguado. Adicionalmente, al carecer de los agregados, la trabajabilidad no será representativa pues esta propiedad depende de su forma y tamaño. (Komal Rawarkar, 2018)

### **1.1.2 Restricciones**

El mercado brinda una gran variedad de proveedores de aditivos que, a pesar de regirse a la misma normativa (ASTM C494), no tienen la misma

composición química, lo cual provoca los efectos en la mezcla de hormigón de un mismo tipo de aditivo difieran según el fabricante. Para el proyecto se hará uso de los aditivos emitidos por los proveedores actuales del cliente.

Otra limitante es la cantidad de variables controladas en la mezcla del mortero. El desempeño del aditivo en un mortero puede diferir dependiendo de la proporción de agregado fino, material cementante, relación agua cemento y temperatura que se use en el diseño. Se ejecutarán las iteraciones con tres contenidos de cemento distintos, mínimo dos valores de relación agua cemento por contenido de cemento, una cantidad fija de arena y tres dosificaciones de aditivo distintas. Finalmente, la mezcla se realizará en un ambiente de temperatura controlada con instrumentos que nos permitan disminuir los errores sistemáticos.

### 1.1.3 Variables de interés

Establecidas las restricciones, nos centraremos en el uso de las siguientes variables controladas:

**Tabla 1-1 Variables Controladas**

<b>Cemento [kg/m<sup>3</sup>]</b>	450	350	250
<b>Relación A/C</b>	0.35	0.45	0.55
<b>Retardador [%]</b>	0.6	0.8	1
<b>Plastificante [%]</b>	0.6	0.9	1.2

**Fuente** Alejandro A., Costa A. 2019

Los valores de material cementante se escogieron de acuerdo con los requerimientos del cliente y la experiencia del personal técnico en la empresa, lo cual cumple con la normativa del ACI 211.1-91 que indica: “En la medida de lo posible, la selección de proporciones del hormigón debe basarse en los datos de prueba o en la experiencia con los materiales que se utilizarán realmente”.

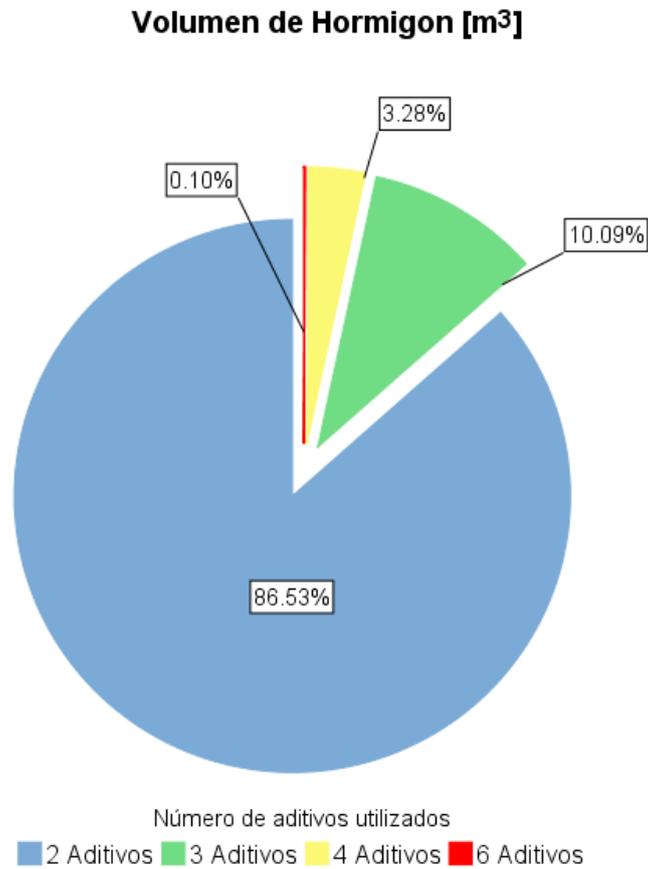
Los valores para dosificación del retardante y del plastificante se acordaron según: valores sugeridos por el cliente conforme a dosificaciones típicas en sus productos (0.8%, 0.9% respectivamente), valor máximo administrable según la ficha técnica del producto (1%, 1.2% respectivamente) y un valor que nos permita determinar una tendencia, para ello tomamos un valor menor a los dos anteriores (0.6% para ambos).

La relación agua cemento inicialmente abarcaba valores de 0.35, 0.45 y 0.55 para todas las proporciones de cemento. No obstante, debido a la falta de trabajabilidad de ciertos escenarios se decidió que para diseños realizados con  $250 \text{ kg/m}^3$  de cemento se use las relaciones a/c de 0.45 y 0.55. Los diseños efectuados con  $350 \text{ kg/m}^3$  y  $450 \text{ kg/m}^3$  en contenido de cemento se trabajan con relaciones a/c de 0.45 y 0.35, con el objeto de evitar escenarios que tengan segregación excesiva o flujo cero.

## **1.2 Justificación del problema**

El cliente de este proyecto debe generar diseños de hormigón que superen los desafíos que la ciudad de Guayaquil presenta al ser la sexta ciudad con más congestión de tráfico en Latinoamérica (Redacción Digital Extra, 2019). La temperatura máxima promedio anual es superior a  $30^\circ\text{C}$  (INAHMI, 2018). Adicionalmente el cliente provee hormigón premezclado a zonas cuyas distancias de transportación superan los 100 km. Para cumplir los requerimientos de trabajabilidad, temperatura y resistencias solicitadas se administra más de un aditivo en los diseños del cliente. Acorde al volumen producido en el 2018 todas las mezclas distribuidas en la ciudad de Guayaquil contienen mínimo 2 aditivos, encontrándose diseños que requirieron hasta 6 aditivos (Gráfica 1-1). Dado que el proveedor de aditivos no dispone de información sobre la mezcla de aditivos, el cliente debe determinarlo empíricamente con el método de prueba y error, lo que implica invertir en recursos. Como consecuencia, es una necesidad del cliente estimar los efectos del uso simultaneo de aditivos en el tiempo de fraguado sin comprometer el

desempeño. Por ello, se le proporcionará un gráfico que le permita diseñar con un tiempo de fraguado teórico



**Gráfica 1-1 Volumen de Diseños acorde al número de aditivos.**

**Fuente: (Mosquera, 2018)**

### 1.3 Antecedentes

En estudios previos a los aditivos, se puede evidenciar el efecto que tienen sobre el fraguado y la resistencia a la compresión del hormigón. La investigación de Salahaldeen (2013) sobre la influencia de aditivos retardantes y superplastificantes en la trabajabilidad y la resistencia a compresión del hormigón, demuestra que el uso de aditivos incrementa la resistencia a compresión del hormigón siendo el superplastificante el de mayor efectividad. Sin embargo, en dosificaciones elevadas se reduce la cohesión de la mezcla y su homogeneidad.

(Salahaldeen, 2015) también estudio el impacto de aditivos superplastificantes sobre el hormigón en estado fresco y endurecido. Se estableció que efectivamente permiten prolongar el flujo del hormigón incluso al exceder la dosificación recomendada con una correlación directamente proporcional entre super plastificante y resistencia a la compresión debido al incremento de agua atrapada que servirá para la hidratación del cemento. No obstante, pasado el límite de dosificación presenta exudación y segregación que conllevan a menguar la cohesión y homogeneidad de la mezcla disminuyendo la resistencia a la compresión (Salahaldeen, 2015).

En relación con la divergencia de composiciones químicas entre proveedores, se corrobora en el artículo sobre la *“Influencia de Aditivos sobre el Comportamiento del Hormigón”* que superplastificantes de distribuidores diferentes obtienen resultados de trabajabilidad y resistencia a la compresión variados. Los resultados aclaran que mientras un aditivo brinda mejores resistencias al primer día, otro incumple este criterio más facilita la retención de trabajabilidad (Anitha, Pradeepa, Lalit, & Rakshit, 2016).

El artículo *“Comportamiento Mecánico y de Fraguado de Mortero de Cemento Portland Gris Tipo III con Aditivos”* evidencia que se puede dosificar valores mayores a los recomendados generando resultados optimizados de tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, sin embargo, existe un límite en el cual

se producen resultados imprevistos. Para los aditivos retardantes analizados el exceso de dosificación (pasados el 0.8%) generaban aceleración en el tiempo de fraguado (Cadavid, Gómez, & Montoya, 2009).

Se generaron similitudes entre los artículos analizados, además de las destacadas anteriormente se distingue que cada autor señala un valor de dosificación que diferenciaron como óptimo, es decir, enriquece las propiedades del hormigón al máximo sin desperdiciar producto ni provocar deficiencias en su composición.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Generar nomogramas que relacionen las combinaciones de los aditivos usados en la planta de hormigón premezclado, con el tiempo de fraguado del hormigón a través de pruebas calorimétricas.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- I. Caracterizar los agregados, el cemento y los aditivos a utilizar en las pruebas.
- II. Ejecutar 50 escenarios en los cuales se itere las variables controladas para obtener una muestra estadística representativa.
- III. Generar los nomogramas correspondientes a cada grupo de escenarios realizado, utilizando un programa estadístico.
- IV. Analizar la influencia de esta herramienta de diseño en el sector económico del campo laboral.
- V. Determinar la disminución de la huella hídrica y el volumen de desperdicio generado en el laboratorio como resultado del uso de los nomogramas generados.

## 1.5 Marco teórico

### 1.5.1 Cemento

Según la INEN 151:2010 se conoce por cemento hidráulico al *“cemento que fragua y endurece por reacción química con agua y capaz de hacerlo aún bajo agua.”* Los cementos contienen compuestos cementantes, tales como el Clinker y las puzolanas, que se atribuyen a su desempeño en obra. En la norma citada inicialmente se aclara que el Clinker de cemento portland es *“Clinker parcialmente fusionado por un proceso de calcinación, que consiste predominantemente de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos”* y que las puzolanas son un *“material silíceo o sílico – aluminoso (...) que reacciona con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.”*

La clasificación de los cementos se ha diversificado a través del tiempo debido a la innovación continua del mercado. La primera clasificación en 1940 acorde a la norma INEN 152, equivalente a la ASTM C150 agrupa los cementos portland en:

- Tipo I: Uso General.
- Tipo II: Calor de hidratación moderado y resistencia a sulfatos.
- Tipo III: Alta resistencia inicial.
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos.

El compuesto principal del cemento portland es el Clinker por ello su fabricación genera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Como alternativa se generaron los cementos hidráulicos compuestos, es decir, con adiciones puzolánicas o de escoria propuesta. En 1967 en la INEN 490 equiparable a la ASTM C595, categorizó a los cementos acorde a nomenclaturas correspondientes a su adición dividiéndolo en tres grupos: Cemento Portland puzolánico (IP), Cemento Portland de escoria de altos hornos (IS) y Cemento compuesto ternario (IT). Las adiciones aminoran la

cantidad de Clinker, reduciendo emisiones nocivas en la fabricación del cemento.

Las clasificaciones anteriormente descritas implicaban que el hormigón tenga una composición química específica dada por la norma, al que el proveedor debía apearse, lo cual limitaba el desarrollo del cemento y su adaptabilidad al mercado cambiante. En 1992 se presenta la tercera y actual clasificación de los cementos acorde a su desempeño. Esta absuelve las restricciones de la composición química y da arranque a experimentar con los componentes del cemento siempre que satisfaga los requisitos de desempeño. La catalogación según la INEN 2380 análoga de la ASTM C1157:

- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MH: Moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.

Se usa cemento tipo HE para los ensayos, este se caracteriza por presentar altas resistencias iniciales a la compresión. Está compuesto por Clinker de cemento portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales. El cemento utilizado contiene entre 14-17% de puzolana natural que aporta a la durabilidad y a la mitigación de la reacción álcali-agregado (Ronquillo, 2019). El módulo de finura del cemento incidirá en el grado de hidratación a edades tempranas y medias (hasta los 28 días) mientras que el contenido puzolánico aporta ganancia a la resistencia a la compresión pasados los 28 días (López & Castro, 2010)

### **1.5.2 Aditivos**

Acorde a la norma ASTM C494 los aditivos se clasifican en:

- Tipo A: Aditivos reductores de agua.
- Tipo B: Aditivos retardantes.
- Tipo C: Aditivos acelerantes.

- Tipo D: Aditivos retardantes y reductores de agua.
- Tipo E: Aditivos acelerantes y reductores de agua.
- Tipo F: Aditivos reductores de alto rango.
- Tipo G: Aditivos reductores de alto rango y acelerantes.
- Tipo S: Aditivos de desempeño específico.

Para los ensayos se trabajará con aditivos tipo D que reducen la cantidad de agua necesaria para alcanzar la trabajabilidad deseada en el hormigón y a su vez retardan el proceso de fraguado. Entre su composición química se pueden encontrar abietatos alcalinos, ácidos hidroxicarboxílicos, sales, lingnosulfatos, hidrocarburos sulfonados y polisacáridos que permiten reducir el contenido de agua de 3% hasta un 12% (Gaspar, 1985). Adicionalmente se añadirá aditivo tipo B, estos retardan el tiempo de inicio del fraguado de hormigón. Los compuestos químicos que generan esta postergación son ácidos cítricos, ácidos glucónicos, ácidos hidroxycarboxílicos, sales, ácidos lingnosulfónicos, hidratos de carbono, glucosa, entre otros (Gaspar, 1985).

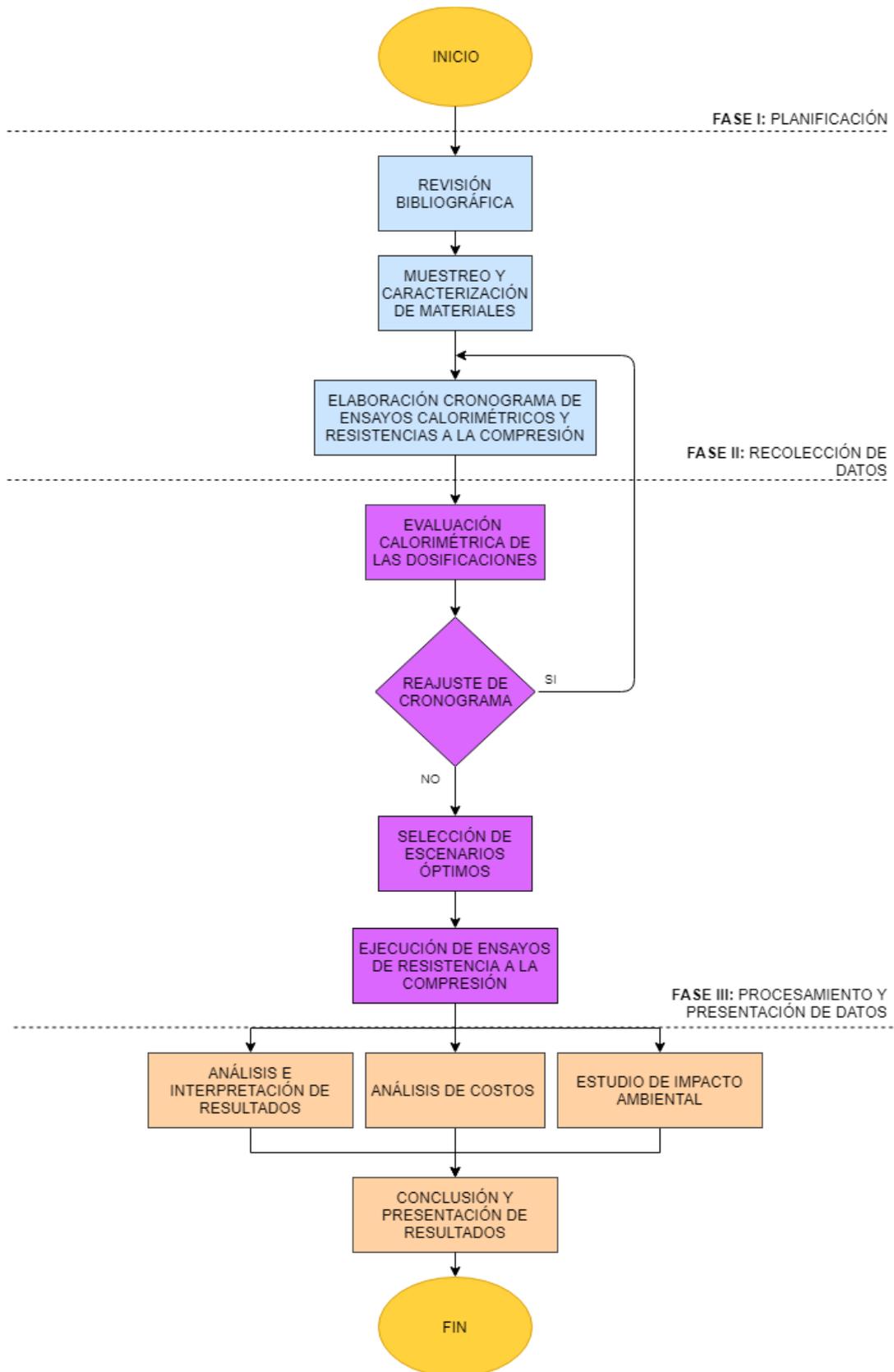
## **1.6 Plan de actividades**

El plan de actividades a seguir se encuentra visualmente descrito en la Figura 1-1. Está constituido en tres fases principales: Planificación, Recolección de Datos y Procesamiento y Presentación de Datos.

*Fase I: Planificación.* En esta etapa se desarrolla la revisión de la literatura acerca de los usos de aditivos y las características que le brindan al hormigón. A continuación, se realiza el muestreo y la caracterización de los materiales a utilizar en el proyecto. Para ello se tomó una muestra de 120 kg de cemento en tres sacos impermeabilizados para así evitar una hidratación previa. En el caso de la arena se toma una muestra de 200 kg, el cual se dispone a una homogenización, y se empieza a secar el material en partes de hasta máximo 15 kg que se almacenan en sacos impermeabilizados para que sea de fácil cuarteo. Se emplea arena seca evitando errores producidos por las variaciones de humedades y nos aseguramos de mantener una relación agua-cemento fija. Seguidamente, se realiza un cronograma de los ensayos a ejecutar que está limitado a las restricciones descritas en el documento.

*Fase II: Recolección de Datos.* En esta fase se ejecuta y se reajusta el cronograma de ensayos inicialmente propuesto de ensayos de calorimetría y se utiliza el ensayo del cono truncado para determinar el flujo como una variable de control que nos permite descartar y reajustar el cronograma según una trabajabilidad mínima para ser despachada en una planta de hormigón premezclado. De estos escenarios, se selecciona los cuatro escenarios óptimos para realizar un control de resistencias a la compresión.

*Fase III: Procesamiento y Presentación de Datos.* En esta fase se realizará el análisis e interpretación de resultados donde se generan los nomogramas, análisis de costos y estudio de impacto ambiental. Además, se presentan los resultados y conclusiones de este estudio.



**Figura 1-1 Esquema de metodología de trabajo para el proyecto de graduación**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A., 2019.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Caracterización del material

Se realizó el ensayo granulométrico, a cada saco de arena utilizado durante el proyecto, siguiendo lo estipulado en la norma INEN 696:2011. Adicionalmente, se calculó la absorción y la densidad relativa según la INEN 856:2010 (APÉNDICE A).

Se detalla aquí la granulometría modelo a la que fueron adaptados los sacos de arena con el propósito de minimizar variaciones en el flujo causadas por la cantidad de limos en la arena.

**Tabla 2-1 Granulometría Muestra 1**

MUESTRA	1			
Fecha de Muestreo	6/24/2019	Tipo de Agregado		Arena de rio
Laboratorista	Alejandro A., Costa A.	Origen		Rio Bulubulu
<b>Granulometría</b>				
Peso Inicial [g]	1320.94			
Tamiz	Retenido [g]	%Retenido	%Retenido Acum	% Pasante
3/4"	3.70	0.28%	0.28%	99.72%
No.4	54.23	4.11%	4.39%	95.61%
No.8	85.24	6.45%	10.85%	89.15%
No.16	128.62	9.74%	20.59%	79.41%
No.30	301.30	22.81%	43.41%	56.59%
No.50	455.36	34.47%	77.91%	22.09%
No.100	253.24	19.17%	97.09%	2.91%
Fondo	38.41	2.91%	100.00%	0.00%
Peso Final	1320.10			
%Error	0.06%			
<b>Densidad y Absorción</b>				
Arena en SSS		500.00	g	
Matr�az+Arena SSS+Agua MC		997.22	g	
Matr�az+Agua MC		800.00	g	
Matr�az		191.13	g	
Arena Seca		489.20	g	
<b>Densidad Relativa (sss)</b>		1.62	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Densidad (sss)</b>		1611.66	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Absorción</b>		2.21	%	

Fuente: Alejandro A., Costa A. 2019

## 2.2 Preparación de mortero

### 2.2.1 Materiales:

1. 2 vasos de precipitación (100ml  $\pm$ 0.05ml)
2. 2 jarras de mínimo 1000ml  $\pm$ 0.05
3. 1 cuenco de vidrio
4. 2 goteros de 5ml
5. 1 espátula de caucho
6. 1 cucharón de metal
7. Mascarilla
8. Guantes de neopreno
9. Gafas protectoras



**Figura 2-1 Balanza electrónica**



**Figura 2-2 Molde cónico**



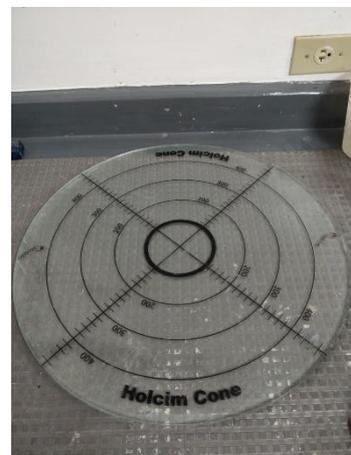
**Figura 2-3 Jarra**



**Figura 2-4 Batidora eléctrica**



**Figura 2-5 Cucharón, espátula y apisonador**



**Figura 2-6 Disco de vidrio**

## 2.2.2 Equipos:

1. Batidora N50 Hobart de 4.7 litros 6HP
2. Balanza electrónica Ohaus Explorer Pro E1D120 (4100±0.01 gramos)
3. Extractor de aire
4. Cronómetro

## 2.2.3 Procedimiento:

1. Se pesó los componentes secos (cemento y arena) en el cuenco de la batidora. Mezclamos manualmente para integrarlos con una espátula de caucho.
2. Se pesó los componentes húmedos del mortero (agua, retardante, plastificante) en los vasos de precipitación respectivos.
3. Se aseguró el cuenco a la batidora y se vertió el 90% del agua de mezcla. Simultáneamente iniciamos el cronómetro. Se batió por 30 segundos con velocidad 1.
4. Con la licuadora encendida añadimos el retardante, con el agua de mezcla separada limpiamos el envase con el propósito de no perder aditivo. Mezclamos por 30 segundos y se repitió el paso con el plastificante.
5. Se apagó la mezcladora y se raspo las paredes del cuenco con ayuda de la espátula de caucho con el fin de integrar residuos de material con el agua de mezclado (30 segundos).
6. Finalmente, se batió en velocidad 2 por 20 segundos.
7. Tapamos mezcla con paño húmedo hasta tomar flujo a los 10 y 45 minutos.



**Figura 2-7 Preparación de mezcla**

## **2.3 Pruebas Calorimétricas**

Estas pruebas se realizaron con un calorímetro semi-adiabático y termocuplas tipo K de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  precisión bajo condiciones de laboratorio, donde se tomaron muestras de 1300g y cuyo tiempo de corrida es de aproximadamente 2 días laborales con mediciones cada dos minutos.

## **2.4 Flujo de mortero**

### **2.4.1 Materiales**

1. 1 apisonador
2. 1 molde cónico
3. 1 cucharon
4. 1 disco de vidrio con medidas
5. 1 vernier ( $\pm 0.01\text{mm}$ )
6. Guantes de neopreno
7. Gafas protectoras

### **2.4.2 Procedimiento**

1. Se ubicó el molde cónico en el centro del disco de vidrio, sobre la marca existente.
2. Se usó el cucharon metálico para verter la mezcla de mortero hasta la mitad del molde cónico, se empleó una mano para sujetar el cono.
3. Se apisonó 10 veces la mezcla, para evitar burbujas en el molde.
4. Se continuó llenando el molde completamente con el cucharon. Se apisono 10 veces más la mezcla y se eliminó el material sobrante dejando al ras el molde cónico.
5. Se alzó el molde cónico verticalmente hacia arriba demorando 3 segundos en retirarlo.
6. Finalmente se mide el ancho del mortero en 2 direcciones perpendiculares con un vernier.

## **2.5 Criterios de selección de escenarios**

Se realizaron 64 pruebas en el calorímetro. Se obtuvieron escenarios con diversidades de flujo y temperaturas detallados en el APÉNDICE E. Para seleccionar los escenarios óptimos que se ensayarán a resistencia se impusieron los siguientes criterios:

1. Tener un flujo entre 200mm y 300mm sobre el disco de vidrio. Este rango lo consideramos como manejable, es decir, permite su manipulación en obra por más tiempo y generar de buenos acabados.
2. No debe darse segregación durante el ensayo.
3. La exudación debe ser mínima, en caso de escoger un ensayo que presente exudación se debe justificar.
4. El grupo de ensayos escogidos debe, de preferencia, coincidir en las dosificaciones de aditivo retardante y plastificante con el fin de poder exponer una correlación entre las resistencias alcanzadas.

## **2.6 Diseño de escenarios**

Se utilizó el método de diseño del ACI 211. El APÉNDICE B resume las dosificaciones calculadas para obtener un metro cúbico de hormigón con contenidos de cemento de 450, 350 y 250 kg/m<sup>3</sup>. A partir de los diseños a metro cúbico se llevó a un volumen de aproximadamente 3lt de mortero equivalente a tamizar en húmedo la mezcla de hormigón como se muestra en la Tabla 2-2, y Tabla 2-4. Debido a las muestras son de volúmenes pequeños se consideró el agua de los aditivos en la relación agua cemento.

**Tabla 2-2 Dosificaciones de diseños de 450kg/m<sup>3</sup> a 2 litros de mortero**

Prueba	A/C	Agua	Retardador	Plastificante	Cemento	Arena
1	0.35	281.35	0.60%	0.60%	736.36	1320.94
2		280.45	0.80%			
3		279.54	1.00%			
4		279.99	0.60%	0.90%		
5		279.09	0.80%			
6		278.18	1.00%			
7		278.64	0.60%	1.20%		
8		277.73	0.80%			
9		276.82	1.00%			
10	0.45	354.99	0.60%	0.60%		
11		354.08	0.80%			
12		353.18	1.00%			
13		353.63	0.60%	0.90%		
14		352.73	0.80%			
15		351.82	1.00%			
16		352.27	0.60%	1.20%		
17		351.37	0.80%			
18		350.46	1.00%			

Fuente: Alejandro A., Costa A. 2019

**Tabla 2-3 Dosificaciones de diseños de 350kg/m<sup>3</sup> a 2 litros de mortero**

Prueba	A/C	Agua	Retardador	Plastificante	Cemento	Arena
19	0.35	189.87	0.60%	1.20%	479.70	1320.94
20		189.28	0.80%			
21		188.69	1.00%			
22		191.64	0.60%	1.50%		
23		191.05	0.80%			
24		190.46	1.00%			
25		190.76	0.60%	1.80%		
26		190.17	0.80%			
27		189.58	1.00%			
28	0.45	241.38	0.60%	0.60%		
29		240.79	0.80%			
30		240.20	1.00%			
31		240.50	0.60%	0.90%		
32		239.91	0.80%			
33		239.32	1.00%			
34		239.61	0.60%	1.20%		
35		239.02	0.80%			
36		238.43	1.00%			

**Tabla 2-4 Dosificaciones de diseños de 250kg/m<sup>3</sup> a 2 litros de mortero**

Prueba	A/C	Agua	Retardador	Plastificante	Cemento	Arena
37	0.45	168.55	0.60%	1.20%	317.8	1320.94
38		168.16	0.80%			
39		167.77	1.00%			
40		167.96	0.60%	1.50%		
41		167.57	0.80%			
42		167.18	1.00%			
43		167.38	0.60%	1.80%		
44		166.99	0.80%			
45		166.60	1.00%			
46	0.55	200.33	0.60%	1.20%		
47		199.94	0.80%			
48		199.55	1.00%			
49		199.74	0.60%	1.50%		
50		199.35	0.80%			
51		198.96	1.00%			
52		199.16	0.60%	1.80%		
53		198.77	0.80%			
54		198.38	1.00%			

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019

## 2.7 Resistencia a compresión

El ensayo se llevó a cabo acorde a la norma ASTM C109-11. Por cada escenario seleccionado se realizaron 12 cubos para evaluar los resultados a 1,3,7 y 28 días. El curado se llevó a cabo según se indica en la norma ASTM C511-19



**Figura 2-8 Moldeo de Cubos de 50x50x50mm**



**Figura 2-9 Escenario 29 a 24 horas del moldeo**



**Figura 2-10 Curado**



**Figura 2-11 Rotura de Cubos**



**Figura 2-12 Escenario 23 a 24 horas**



**Figura 2-13 Resultado del Escenario 23 a 24 horas**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Curvas calorimétricas

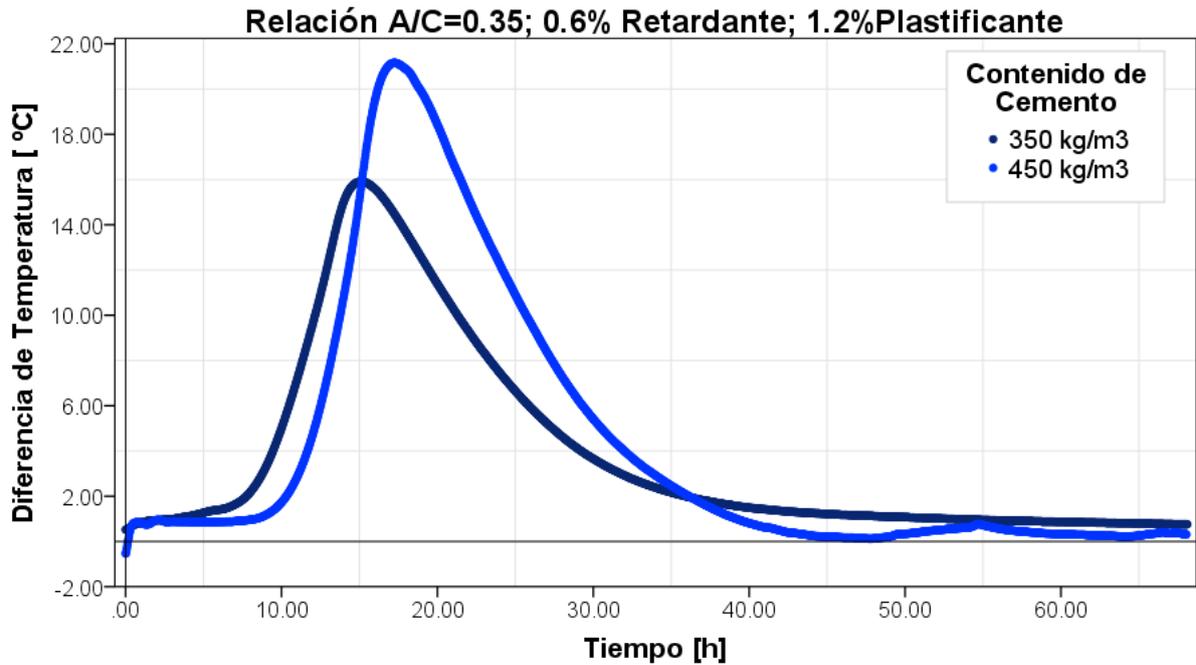
Se graficó la diferencia de temperatura de la celda de la muestra con la de referencia (mortero endurecido) para poder modelar con la menor cantidad de errores sistemáticos en los que se incluyen los cambios de temperatura del cuarto. Para suavizar la curva se utilizó una regresión que usa el promedio del valor anterior, el actual y el posterior. Este proceso tuvo hasta 40 iteraciones para genera la curva final. El APÉNDICE D muestra las gráficas generadas con este método.

La Gráfica 3-1 Curvas calorimétricas para distintos contenidos de cemento nos permite ver el comportamiento directamente proporcional entre el calor de hidratación y el contenido de cemento. La Gráfica 3-1 nos permite ver como se retarda el tiempo de fraguado conforme se aumenta el retardante, adicionalmente se observa como el calor de hidratación aumenta ligeramente conforme se aumenta el retardante, reflejándose en el tiempo de fraguado total tenuemente. La Tabla 3-1 cuantifica esta diferencia.

**Tabla 3-1 Tiempos de fraguado para las pruebas del 1 al 3**

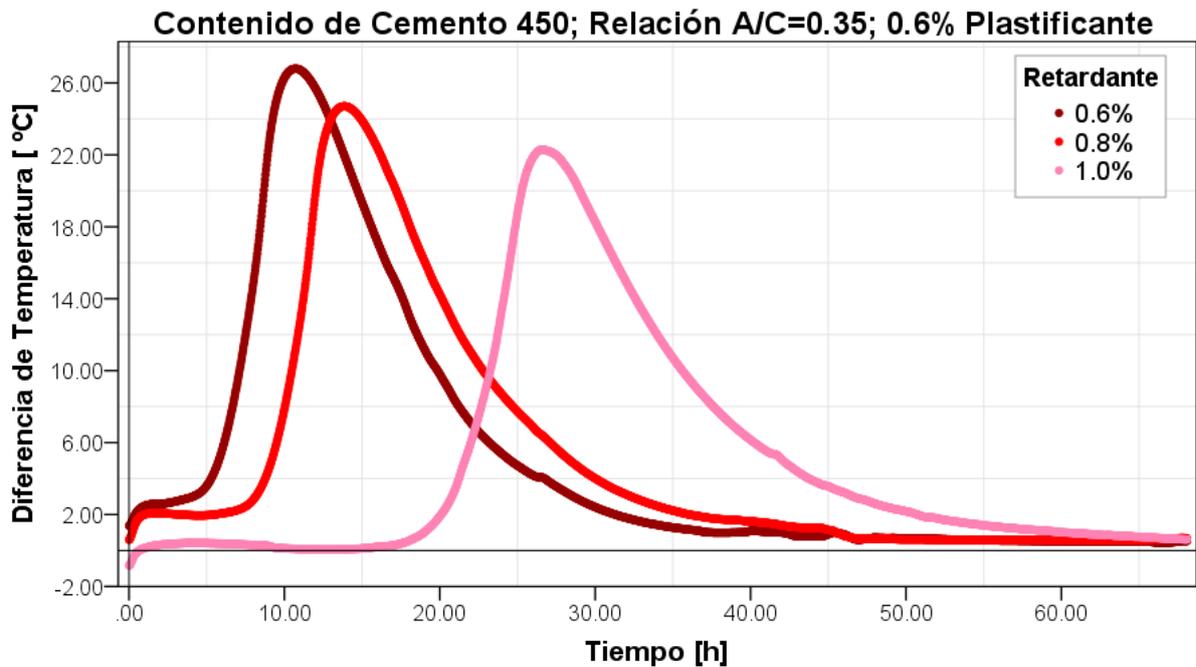
Prueba	Fraguado inicial [h]	Fraguado Final [h]	Fraguado total [h]	Retardo [h]
1	6.3	7.7	1.4	-
2	9.1	10.7	1.6	2.8
3	21.3	23.1	1.8	15.0

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019



**Gráfica 3-1 Curvas calorimétricas para distintos contenidos de cemento**

Fuente: Alejandro A., Costa A. 2019



**Gráfica 3-2 Curvas Calorimétricas para los Escenarios del 1 al 3**

Fuente: Alejandro A., Costa A. 2019

### 3.2 Correlación de fluidez del mortero con asentamiento del hormigón

Se realizó un ensayo con el cono de Abrams (ASTM C143) en hormigón para identificar una correlación entre la fluidez del mortero con el revenimiento del hormigón. La analogía establecida está tabulada en la Tabla 3-2. Sin embargo, se recomienda un análisis más extenso para establecer una relación más precisa.

**Tabla 3-2 Correlación de fluidez aparente**

Normativa Europea (UNE-EN 12350-2)		Disco de vidrio
Consistencia	Asentamiento en cm	Fluidez en cm
Seca	0-2	100-150
Plástica	3-5	151-200
Blanda	6-9	201-250
Fluida	10-15	251-300
Líquida	16-20	>301

**Nota:** Se recomienda realizar más ensayos para reafirmar esta relación

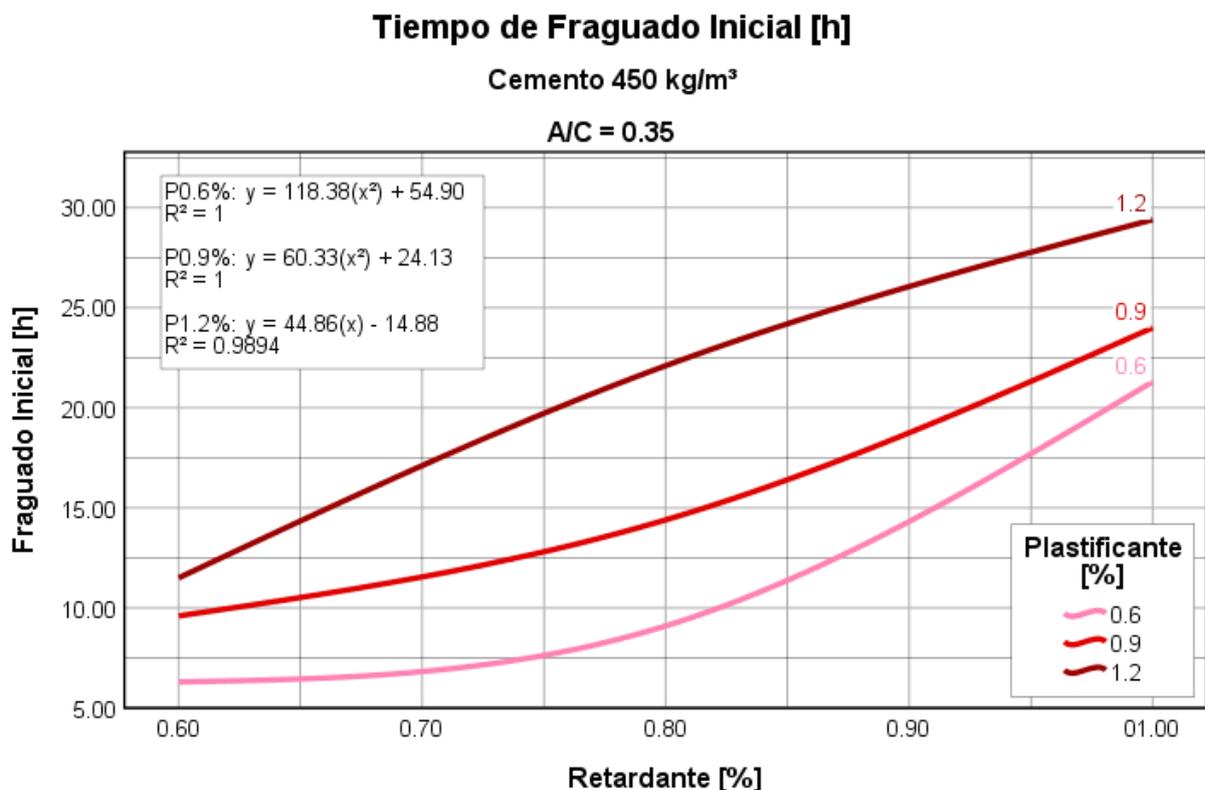
**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019

Se identificó que aumentos pequeños de material fino en la arena disminuye drásticamente el flujo del mortero. Se llevó controles sobre la granulometría de la arena, no obstante, variaban los finos (finos adheridos al material, generación de polvo, residuos en el saco). Estos cambios afectaron severamente el flujo dando discrepancias de hasta 100mm en el flujo de una misma dosificación.

### 3.3 Nomogramas

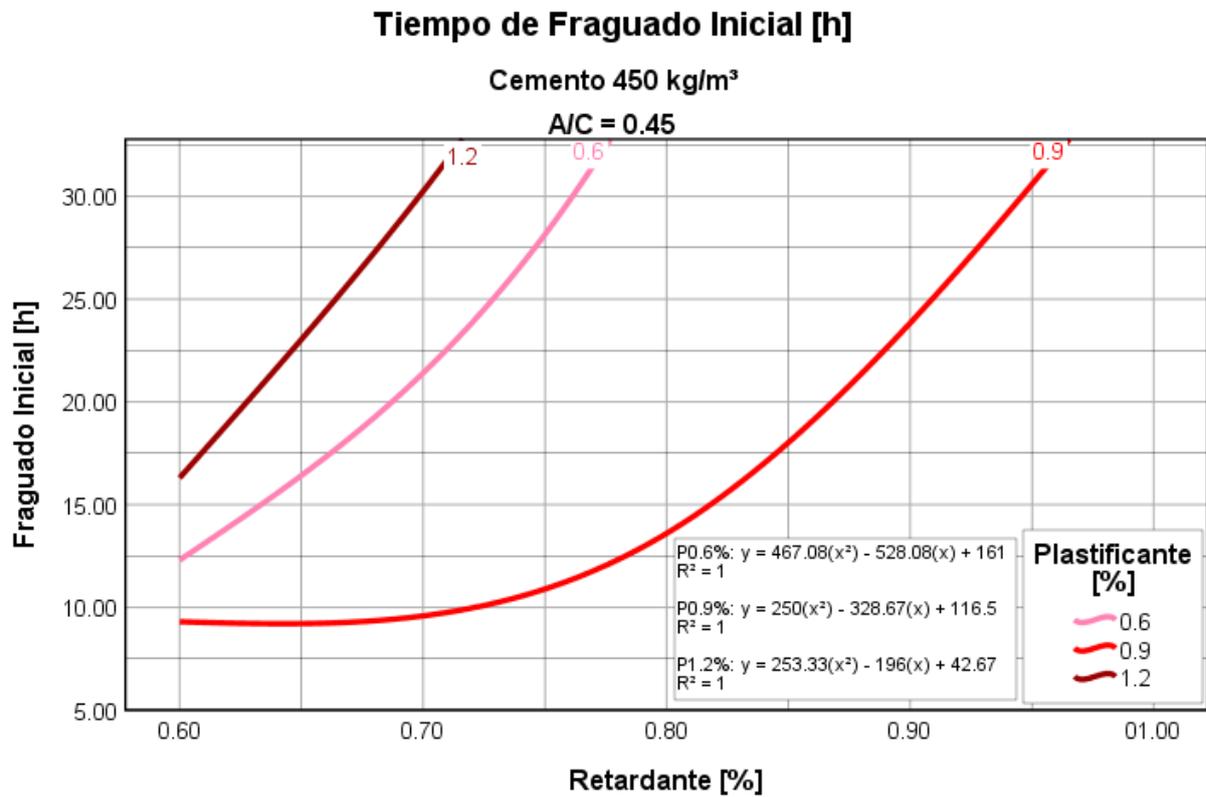
Mediante el programa IBM SPSS Statistics 25.0 se generó los nomogramas conforme al contenido de cemento y su relación agua/cemento. Se organizó las gráficas con tonalidades rojas, azules y verdes según el contenido de cemento 450Kg, 350Kg y 250Kg respectivamente. Cada recta indica una dosificación fija de plastificante mientras que el eje “X” define el retardante. Finalmente se obtiene en horas el fraguado inicial en el eje “Y”.

Se observó que a mayor retardante y plastificante se pospone el tiempo de fraguado inicial. El ensayo realizado es muy sensible a cambios de temperatura ocasionados por fallas mecánicas, cortes eléctricos y uso del laboratorio, por lo que ciertos escenarios se tuvieron que repetir para confirmar los resultados.



**Gráfica 3-3 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 450 kg/m<sup>3</sup>, A/C 0.35.**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019



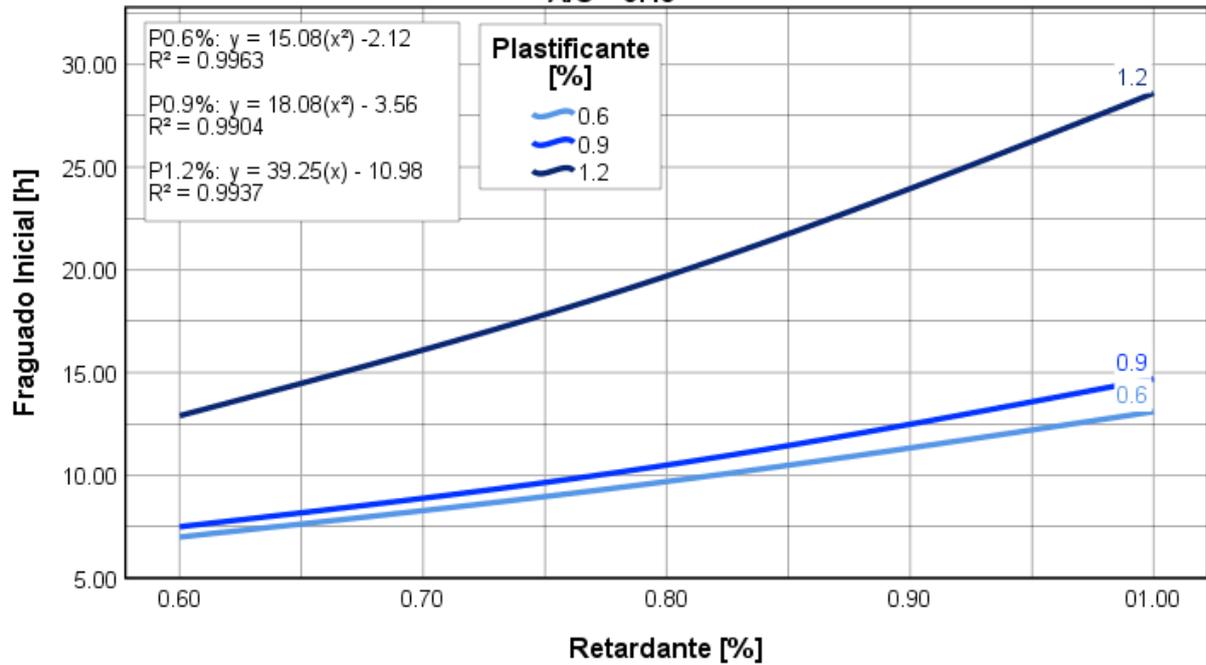
**Gráfica 3-4 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 450 kg/m<sup>3</sup>, A/C 0.45.**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019

### Tiempo de Fraguado Inicial [h]

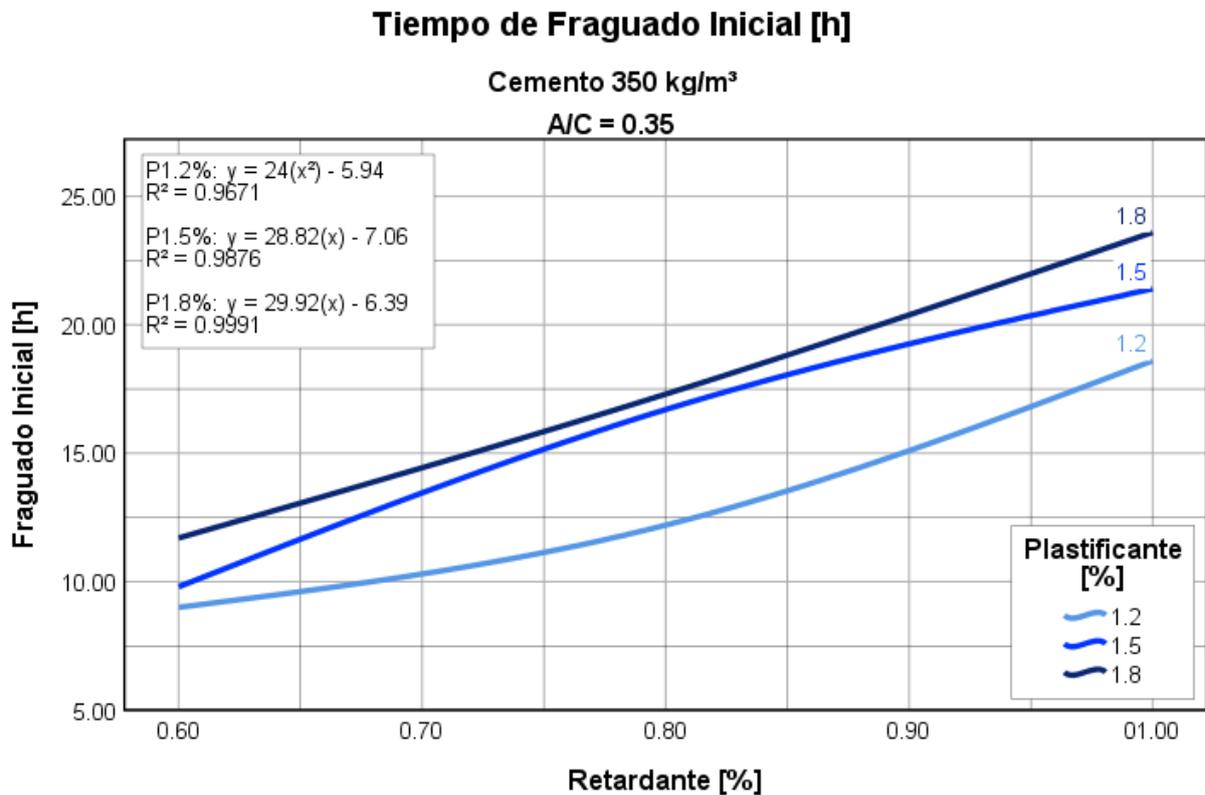
Cemento 350 kg/m<sup>3</sup>

A/C = 0.45



**Gráfica 3-5 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 350 kg/m<sup>3</sup>, A/C 0.45.**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019



**Gráfica 3-6 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 350 kg/m<sup>3</sup>, A/C 0.35.**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019

El nomograma correspondiente a 250kg/m<sup>3</sup> de cemento y relación a/c 0.45 no se graficó dado que el mortero carecía de flujo. La relación a/c 0.55 tuvo un desempeño ligeramente mejor, presentando una apariencia más cohesiva e hidratada homogéneamente, no obstante, los flujos eran casi nulos.

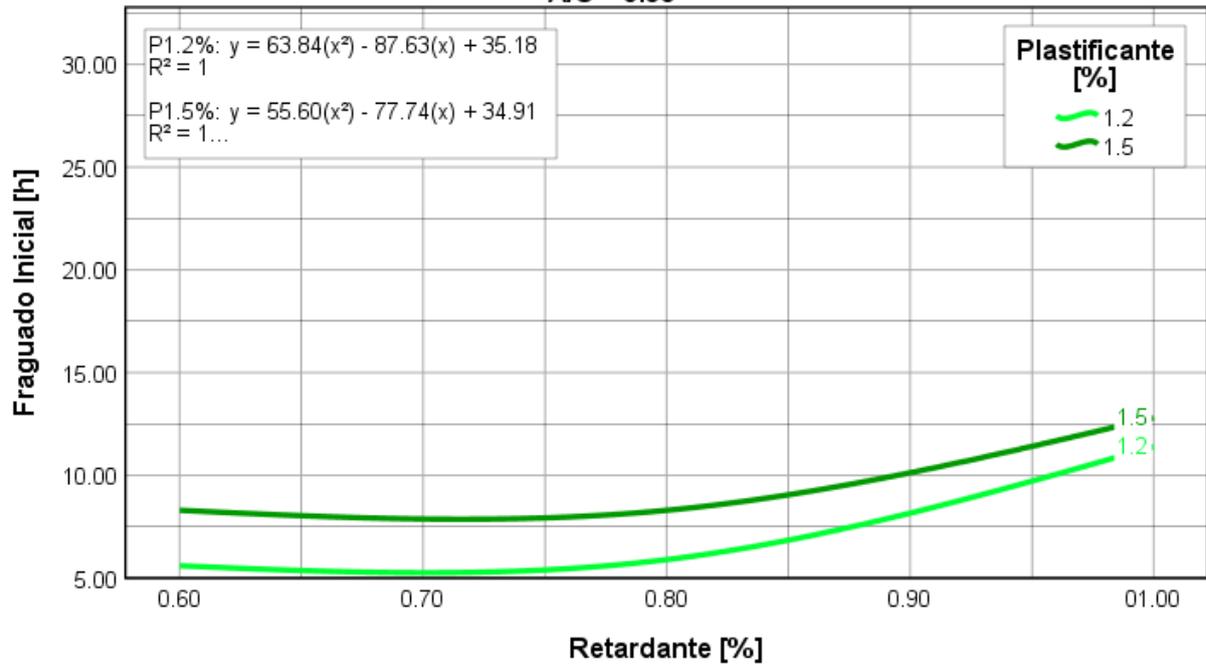


**Figure 3-1 Escenario 42**

### Tiempo de Fraguado Inicial [h]

Cemento 250 kg/m<sup>3</sup>

A/C = 0.55



**Gráfica 3-7 Nomograma: Tiempo de Fraguado Inicial, Cemento 250 kg/m<sup>3</sup>, A/C 0.55.**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. 2019

### 3.4 Relación entre plastificante y duración del fraguado

Definimos como duración del fraguado al tiempo entre el fraguado inicial y el fraguado final. Durante este periodo se forman conexiones rígidas por lo que es crucial no generar disturbios en el mortero u hormigón dado que afectaría el desempeño de este.

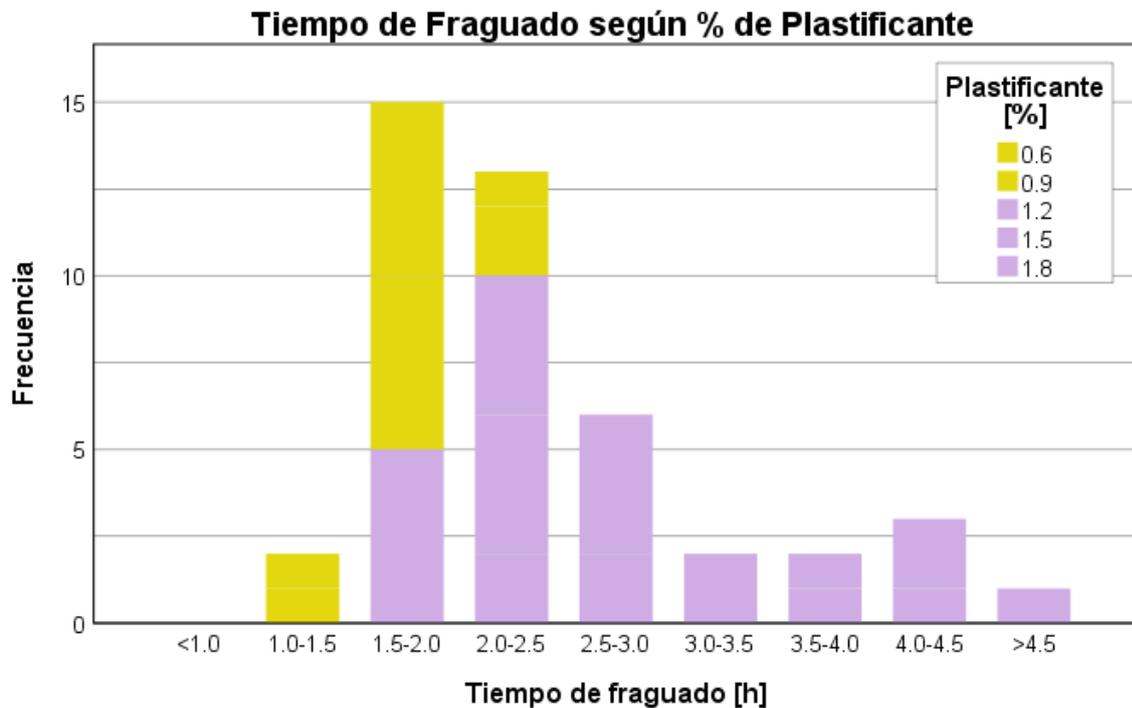
La Gráfica 3-8 relaciona con qué frecuencia se dan dosificaciones de plastificante igual o mayores a 1.2% en un intervalo de horas determinado. Se visualiza que, a mayor dosificación de plastificante, mayor es la duración del fraguado.

Para este análisis se eliminaron los escenarios 11 y 15 ya que dada la alta relación A/C se segregaron completamente generando fraguados de hasta nueve horas.

**Tabla 3-3 Frecuencia de Tiempo de fraguado**

Tiempo de fraguado [h]					
		Frecuencia	Porcentaje [%]	Porcentaje Válido [%]	Porcentaje acumulativo [%]
Datos Validos	1.0-1.5	2	4.5	2.3	4.5
	1.5-2.0	15	34.1	36.4	38.6
	2.0-2.5	13	29.5	31.8	68.2
	2.5-3.0	6	13.6	13.6	81.8
	3.0-3.5	2	4.5	4.5	86.4
	3.5-4.0	2	4.5	4.5	90.9
	4.0-4.5	3	6.8	6.8	97.7
	>4.5	1	2.3	2.3	100.0
	Total	44	100.0	100.0	

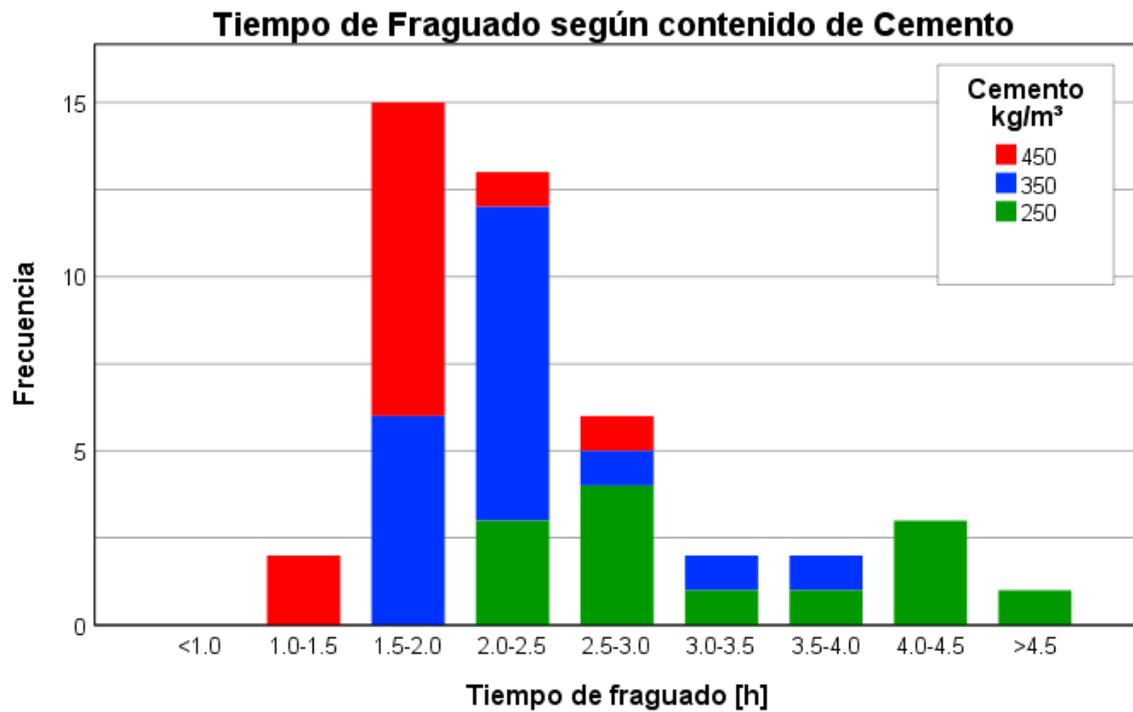
**Fuente:** Alejandro A., Costa A. (2019)



**Gráfica 3-8 Frecuencia de dosificación de Plastificante según Tiempo de Fraguado**

**Fuente:** Alejandro A. Costa A. 2019

La Gráfica 3-9 expone que, a menor cantidad de cemento, mayor es el tiempo de fraguado. Debido a que el agua no logra distribuirse uniformemente, el mortero no posee flujo y los aditivos no tienen suficiente superficie efectiva para reaccionar eficientemente. Para lograr una dispersión efectiva del aditivo es recomendable que la mezcla esté hidratada homogéneamente, así el aditivo no se concentra en una sola sección de la mezcla y se prescinde de que el agregado lo absorba. Acorde a la entrevista al Ing. Eduardo Torres (APÉNDICE B) los aditivos reaccionan directamente con el cemento, por ello es importante su distribución uniforme y efectiva. Estos generan una película alrededor de las partículas de cemento que permite inhibir la reacción (retardante) o polarizar las partículas para repelarse entre sí en una reacción estérica (plastificante).



**Gráfica 3-9 Frecuencia de Contenido de Cemento en relación con el Tiempo de Fraguado**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

### 3.5 Resistencias

Se observaron variaciones en el desarrollo de resistencias tempranas como se muestran en la Tabla 3-4 donde la resistencia a las 24 horas de los cuatro escenarios está por debajo del 40% de la resistencia final<sup>1</sup>, sin embargo, se observa un crecimiento típico para los escenarios 20, 23 y 29. Por otro lado se halló un aceleramiento a partir del día 3 para la escenario 5. Los escenarios cuyo contenido de cemento era de 350 kg/m<sup>3</sup> indican que después de los 28 días pueden desarrollar al menos 10 MPa más en los siguientes 7 días pues la tasa de crecimiento entre el día 7 y el día 28 es superior a 12% en contraste al escenario con 450 kg/m<sup>3</sup> de contenido de cemento cuya diferencia es de 6% mostrando así un comportamiento asintótico para el desarrollo de la resistencia.

**Tabla 3-4 Desarrollo porcentual de las resistencias**

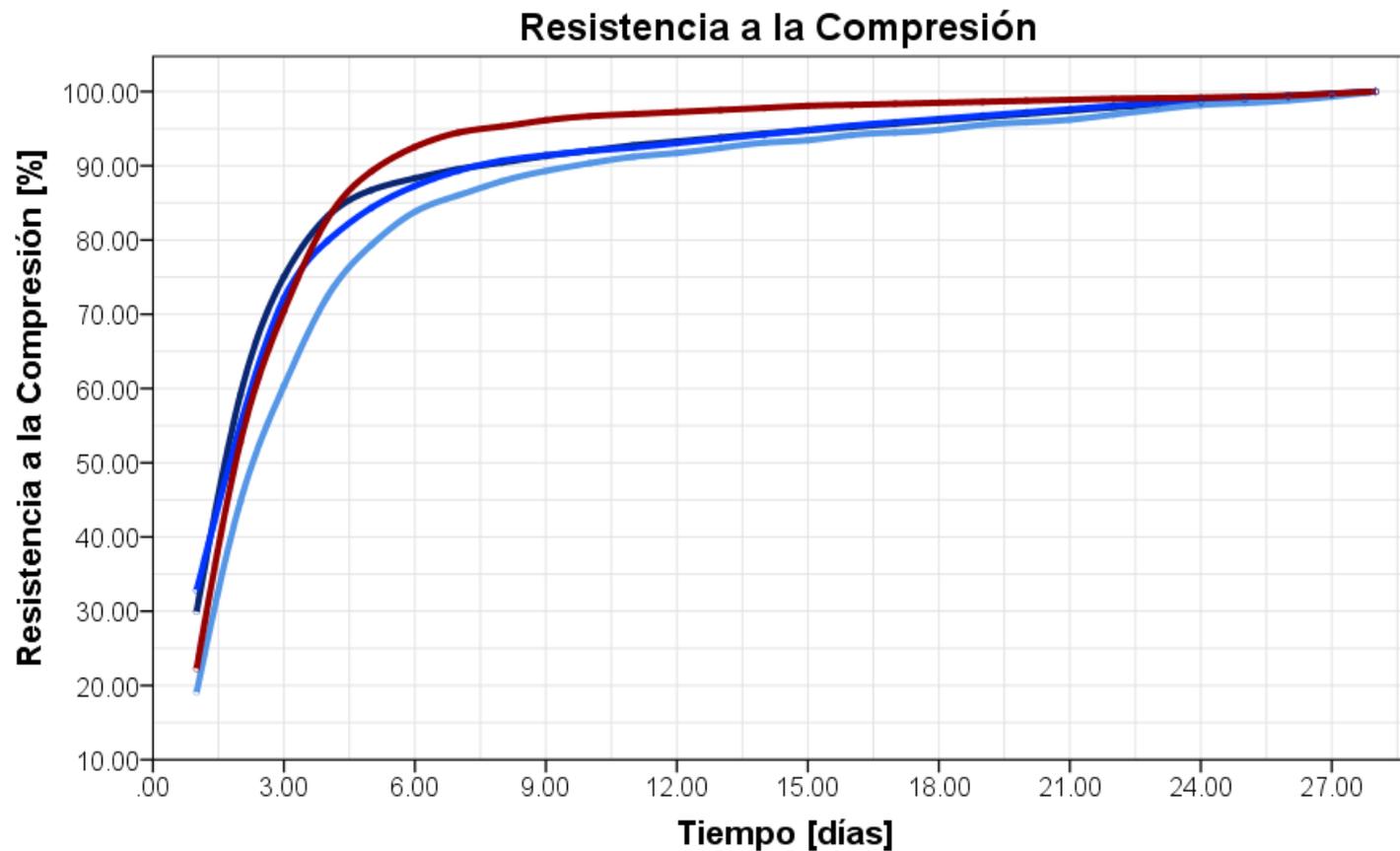
<b>Escenario</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>23</b>	<b>29</b>
Día 1	19%	30%	23%	31%
Día 3	59%	77%	75%	70%
Día 7	86%	87%	94%	84%
Día 28	100%	100%	100%	100%

**Fuente:** Alejandro A., Costa A. (2019)

Por otra parte, se observa en la Gráfica 3-10 que los escenarios 5 y 23 alcanzan resistencias finales similares con un error menor al 5%. Se observa que, al aumentar la cantidad de plastificante, mantener la relación agua-cemento y el contenido de retardante, desarrollan a la misma velocidad los primeros 7 días, pero aumenta entre los días 7 y 28 para el escenario 23. Es notorio que al comparar los escenarios 20 y 29, el escenario 29 tiene una relación agua-cemento menor que el escenario 20, no obstante, alcanzan la misma resistencia final.

---

<sup>1</sup> Se considera en este estudio la resistencia final como la resistencia alcanzada a los 28 días



- Escenario 20: 350 Cemento; 0.6% Retardante; 1.2% Plastificante; A/C=0.35
- Escenario 23: 350 Cemento; 0.8% Retardante; 1.5% Plastificante; A/C=0.35
- Escenario 29: 350 Cemento; 0.8% Retardante; 0.6% Plastificante; A/C=0.45
- Escenario 5: 450 Cemento; 0.8% Retardante; 0.9% Plastificante; A/C=0.35

**Nota:** Resultados en MPa en APÉNDICE F

**Gráfica 3-10 Desarrollo de las Resistencias**

## **3.6 Impacto Ambiental**

### **3.6.1 Antecedentes**

El hormigón como parte de una estructura sustentable debe minimizar el impacto ambiental en cada parte de su ciclo de vida. Esto implica que la producción de hormigón consuma menos energía en la fabricación de materia prima, genere con poco desperdicio y produzca estructuras durables (Naik, 2008).

La optimización de superplastificantes (policarboxilatos) para mejorar la durabilidad del hormigón es esencial para la tecnología del hormigón sustentable (Gettu, Pillai, Santhanam, & Dhanya, 2016). Este estudio se concentra en la huella hídrica y en el volumen de desperdicios en la etapa de producción del ciclo de vida del hormigón, pues es donde existe mayor impacto (Mack-Vergara & Vanderley , 2017).

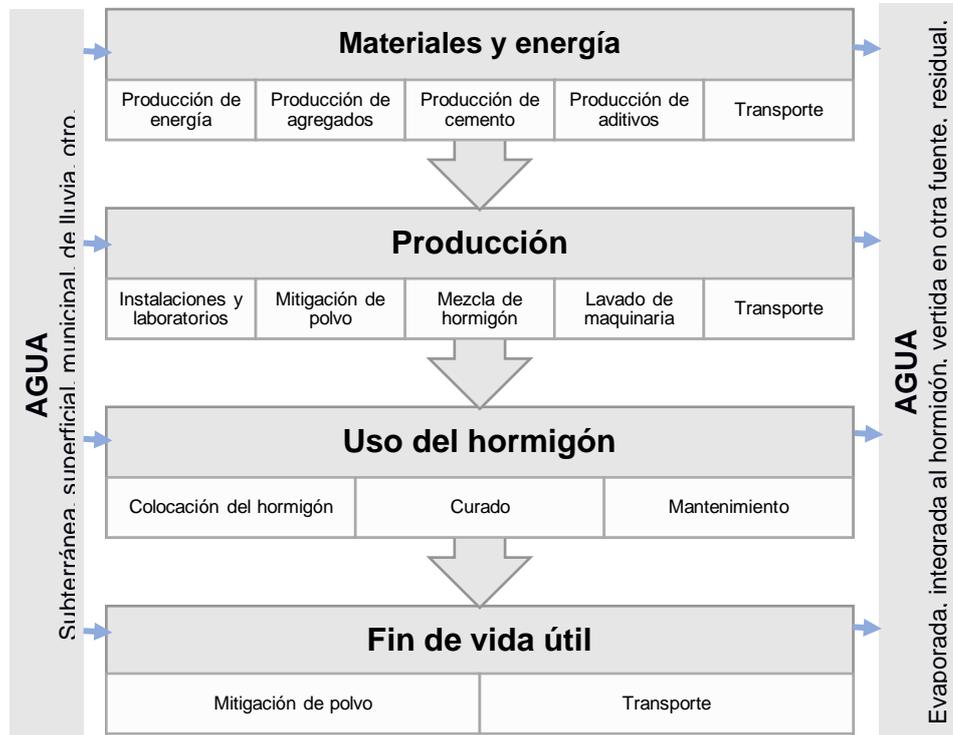
### **3.6.2 Plantas de Hormigón premezclado**

#### **3.6.2.1 Huella hídrica**

La huella hídrica cuantifica el agua utilizada por los fabricantes y el agua que es empleada al generar materiales, por parte de los proveedores, necesarios para la fabricación del producto. El consumo de agua indirecto (externos a la empresa) también se lo conoce como consumo virtual de agua (Mack-vergara & John, 2017).

Los datos de ingreso y egreso de agua varían acorde a la metodología empleada generando discrepancias en los resultados de consumo de agua de compañías que se dedican a una misma área (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2009).

Las fases en que se utiliza agua (empresa y/o proveedores) para la fabricación de hormigón se detallan en la Figura 3-1.



**Figura 3-1 Ciclo del agua del hormigón.**

**Fuente:** Basado en la Fig. 3 de Mack-Vergara & John, 2017

El uso de agua está presente en todas las fases de fabricación del hormigón, desde la generación de agregados hasta la limpieza de los equipos de transporte y el control de polvo en la planta. El agua gris de una planta hormigonera puede contener abundantes cantidades de sólidos en suspensión, nitratos y altos índices de pH (Cagiao Villar , et al., 2010).

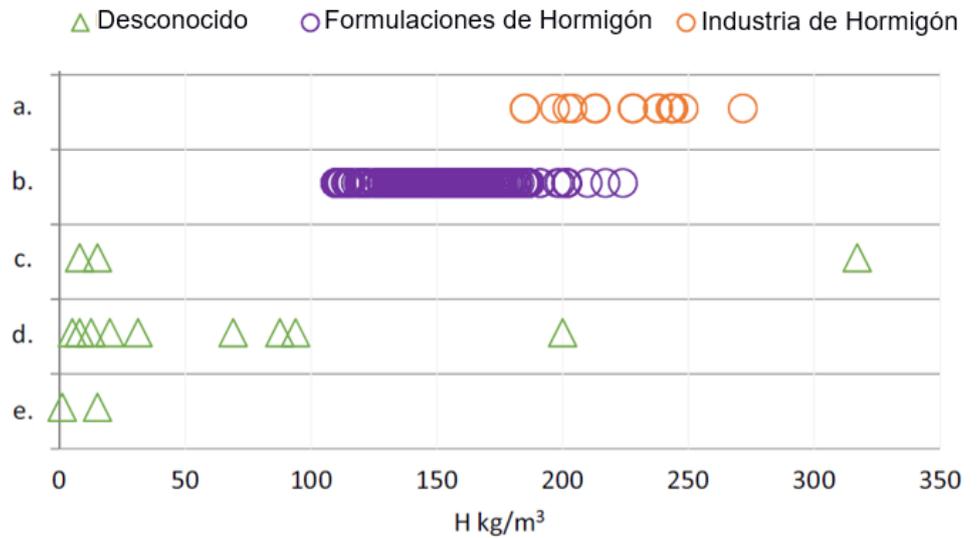
Las formas de reducción del consumo del agua en la producción del hormigón se ven limitadas por los procesos industriales necesarios que ya forman parte de un proceso de mitigación como el control del polvo. De esta manera el uso de aguas lluvias, la reutilización de aguas grises y optimización de agua en las pruebas de laboratorio se convierten en el siguiente paso para la disminución de consumo de agua fresca. El cliente posee una

huella hídrica de 298 L/m<sup>3</sup>, de los cuales aproximadamente 200L es agua incorporada en el producto. La Figura 3-2 muestra que el proceso de formulación del hormigón tiene alto consumo de agua. Al emplear los nomogramas, se puede reducir un 60% (ver Tabla 3-5) la generación de agua consumida para un nuevo diseño de hormigón comparado con el método convencional de formulación.

**Tabla 3-5 Volumen de agua de mezcla reducible para un caso crítico**

	<b>Número de escenarios</b>	<b>Volumen de agua [l]</b>
<b>Caso Crítico (sin Nomograma)</b>	5	22
<b>Caso Crítico (con Nomograma)</b>	2	8
<b>Diferencia</b>		<b>13</b>
<b>% de reducción por uso de nomograma</b>		<b>60%</b>

Fuente: Alejandro A., Costa A. (2019)



Nota: Unidad H kg/m<sup>3</sup>: Kilogramos de agua por metro cúbico de hormigón. a. Por **Hormigón**; b. Agua de mezcla; c. Por lavado de camiones; d. Limpieza del Mixer; e. Limpieza del área de circulación

**Figura 3-2 Inventario de Agua para la producción del hormigón**

**Fuente:** Fig. 6 de Mack-Vergara & John, 2017

### 3.6.2.2 Volumen de desechos

Actualmente, las regulaciones ambientales de Latinoamérica buscan promover la reducción de producción de residuos netos (Nadia, 2015). El cliente reutiliza un 42% de los desechos producidos anualmente en todos sus procesos. Para ello utiliza técnicas que van desde la reutilización de agregados de mezclas rechazadas hasta el rediseño de mezclas basándose en la ASTM C1798-16. La Tabla 3-6 muestra como el uso de nomogramas permite reducir un 60% del volumen de hormigón producido en el laboratorio considerando un caso crítico en base a la experiencia del cliente. Se considera un caso crítico cuando se requiere probar 5 escenarios previo a la obtención del diseño final.

**Tabla 3-6 Volumen de desechos de hormigón reducibles para un caso crítico**

	<b>Número de escenarios</b>	<b>Volumen de hormigón [l]</b>
<b>Caso Crítico (sin Nomograma)</b>	5	140
<b>Caso Crítico (con Nomograma)</b>	2	56
<b>Diferencia</b>		<b>84</b>
<b>% de reducción por uso de nomograma</b>		<b>60%</b>

Fuente: Alejandro A., Costa A. (2019)

### 3.7 Análisis de Costos

Para el estudio se contrastó la formulación de un diseño actual del cliente versus la ejecución del mismo diseño empleando los nomogramas generados. Para ello se analizó el caso más crítico (Tabla 3-6) en base a precios del mercado (Tabla 3-7) y los estipulados en la tabla de salarios del país.

**Tabla 3-7 Precios por Volumen**

<b>Precios por Volumen</b>		
<b>Material</b>	<b>Costo por m<sup>3</sup></b>	<b>Costo por litro</b>
Cemento	\$ 357.89	\$ 0.358
Arena	\$ 339.30	\$ 0.339
Piedra	\$ 402.75	\$ 0.403
Aditivos 1	\$ 724.50	\$ 0.725
Aditivos 2	\$ 990.00	\$ 0.990
Agua	\$ 1.50	\$ 0.002

Fuente: Elaboración propia

El APÉNDICE G presenta el análisis de precio unitario para un lote de 28 litros (ASTM C172) generado con la metodología actual (rendimiento de 0.33) y uno generado con el nomograma (rendimiento 0.42). El rendimiento se asignó conforme a la experiencia del cliente y el ahorro esperado con el nomograma (15 minutos por diseño). Se calculó que el costo de un lote es \$35.00 y \$29.15 respectivamente. La

Tabla 3-8 expone la comparación de precio según el caso. Se calculó un ahorro

	Número de pruebas por diseño	Costo Total	Número de diseños vendidos anualmente*	Costo Anual
<b>Caso Critico (sin Nomograma)</b>	5	\$ 175.00	315	\$ 55,125.00
<b>Caso Critico (con Nomograma)</b>	2	\$ 58.30		\$ 18,364.50
<b>Diferencia</b>		\$ 116.70	\$ 36,760.50	
<b>% de ahorro por uso de nomograma</b>		33%	33%	

**Nota:** (\*) Valores referenciales del 2018 por gastos en materiales de laboratorio.

del 33% al utilizar el nomograma.

**Tabla 3-8 Comparación de costos**

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

Proyectando el valor para el numero de diseños ejecutados en el 2018 por el cliente se alcanza un ahorro de \$36,760.50.

**Tabla 3-9 Proyección Anual de costos**

	Número de pruebas por diseño	Volumen de hormigón [l]	Costo por 28 litros	Costo Total
<b>Caso Critico (sin Nomograma)</b>	5	140	\$ 35.00	\$ 175.00
<b>Caso Critico (con Nomograma)</b>	2	56	\$ 29.15	\$ 58.30
<b>Diferencia</b>				\$ 116.70
<b>% de ahorro por uso de nomograma</b>				33%

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Se caracterizó el agregado fino mediante pruebas de granulometría y absorción. Con los datos obtenidos se estableció una granulometría base a la que se adaptaron las muestras de arena con el fin garantizar homogeneidad en las pruebas por la sensibilidad de la escala del ensayo.

Se ejecutaron 64 ensayos de mortero, de los cuales se consideraron 51 escenarios para la muestra representativa del análisis (APÉNDICE E), de ellos se repitieron 10 escenarios para probar la replicabilidad y la repetibilidad de estos. El resto de los escenarios se descartó por tratarse de mezclas carentes de manejabilidad. Observando los ensayos se confirmó que, a mayor cantidad de aditivo, mayor es la exudación generada, independiente de la relación a/c.

Se generaron cinco nomogramas agrupados conforme al contenido de cemento y a la relación a/c. A partir de los nomogramas se obtuvo el tiempo de fraguado inicial en correspondencia a la dosificación de aditivo utilizada. Se identificó en los nomogramas que, a mayor cantidad de aditivo, sea plastificante o retardante, se incrementaba el tiempo de fraguado inicial en un 60% a 70% en promedio. Además, mientras mayor sea el contenido de cemento ( $\text{kg/m}^3$ ) en la mezcla, el aditivo mejoraba su desempeño. Se concluyó que se requiere de menores dosificaciones de aditivo en mezclas con alto contenido de cemento.

Adicionalmente se observó que, a mayor contenido de plastificante, mayor será el tiempo de fraguado, es decir, el intervalo de tiempo desde que inicia el fraguado hasta que culmina. Esta afirmación se cumple especialmente en dosificaciones elevadas ( $>0.9\%$ ). No obstante, la prolongación del fraguado no tiene impacto en el desempeño final del mortero.

Se analizó la influencia de la herramienta de diseño sobre el sector económico en el campo laboral. Empleando valores referenciales y analizando el caso crítico, se concluyó que usando el nomograma se obtiene un ahorro de 33% por formulación de diseño, correspondiente a \$36,760.50 anuales<sup>2</sup> considerando solo los gastos de laboratorio. Esto se debe al incremento del rendimiento y a la disminución de ensayos realizados por diseño.

Se determinó el impacto ambiental del uso de los nomogramas en la formulación de un diseño crítico. La presente investigación fomenta la reducción de huella hídrica y volúmenes de desperdicios que producen esta actividad hasta en un 60% en casos que requieren evaluar hasta 5 escenarios.

## **4.2 Recomendaciones**

En investigaciones que tienen relación al estudio de materiales es de vital importancia generar los ensayos de caracterización del material previo al inicio de cualquier estudio debido a que el material separado para la investigación corre el riesgo de contaminarse o alterarse por condiciones ambientales.

Dada la pequeña escala de los escenarios y a la presencia irregular de material fino por adherencia al agregado y acumulación de residuos en los sacos, los datos de flujo obtenidos variaron sin responder a un patrón definido. En los ensayos realizados se observó un decrecimiento promedio del flujo del 12% a los 45 minutos de iniciarse el proceso de hidratación del cemento. Se recomienda tomar medidas de control sobre el contenido de finos en la arena en ensayos de pequeña escala (mortero) dado al impacto que se presencié durante el estudio.

Se recomienda realizar un estudio de las variables moderadoras para determinar la resistencia a la compresión entre los días 7 y 28 para mezclas con alto contenido de cemento o alto contenido de aditivos puesto que no siguen la tendencia de un hormigón convencional.

---

<sup>2</sup> Valores calculados según registros de la empresa del 2018

El análisis de costos más amplio es recomendable. Se propone abarcar casos más grandes como diseños de trabajabilidad extendida, las devoluciones de camiones de mixer y pruebas industriales, puesto que bajo estas circunstancias el ahorro puede ser aún mayor.

Se recomienda hacer un análisis exclusivo de la huella hídrica del hormigón en nuestro medio que incluya la huella de la producción de los aditivos como un componente de la huella del hormigón. Aunque las regulaciones del país buscan reducir la producción de residuos de hormigón, la investigación sobre la reutilización de estos desechos es baja, por lo que se debe incentivar el realizar estudios para la creación de nuevos materiales a partir de estos escombros.

# BIBLIOGRAFÍA

- Anitha, J., Pradeepa, S., Lalit, S., & Rakshit, K. (2016). Influence of Admixtures on Behavior of Concrete. *International Journal of Research in Advent Technology*, 4(11), 16–23. <https://doi.org/10.1002/9783527615315.ch03>
- Cadavid, A., Gómez, M., & Montoya, Y. (2009). Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento portland gris tipo III con aditivos. *Revista EIA*, (11), 39–49. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n11/n11a04.pdf>
- Gaspar, D. (1985). Aditivos para concretos, morteros y pastas Normativa: clasificación y definiciones. *Materiales de Construcción*, 35(200), 9. <https://doi.org/10.3989/ic.1982.v34.i340.2107>
- Gerardo, R. L. (2011). Aditivos Para Mortero Y Concreto. In *Concreto Simple* (pp. 231–255).
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). *Water Footprint Manual*. (november).
- López, M., & Castro, J. T. (2010). Efecto de las puzolanas naturales en la porosidad y conectividad de poros del hormigón con el tiempo Effect of natural pozzolans on porosity and pore connectivity of concrete with time. *Revista Ingeniería de Construcción*, 25, 419–431.
- Mack-vergara, Y. L., & John, V. M. (2017). Life cycle water inventory in concrete production — A review. *Resources, Conservation & Recycling*, 122, 227–250. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.004>
- Salahaldein, A. (2013). Effects of Super Plasticizing and Retarding Admixtures on Properties of Concrete. *International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICIET'2013)*, December 25-26, Bangkok (Th), 271–274. <https://doi.org/10.15242/IIE.E1213607>
- Salahaldein, A. (2015). Effect of Superplasticizer on Fresh and Hardened Properties of Concrete. *Journal of Agricultural Science and Engineering*, 1(2), 70–74. Retrieved from [http://www.ajer.org/papers/v3\(3\)/ZA33205211.pdf](http://www.ajer.org/papers/v3(3)/ZA33205211.pdf)

- American Concrete Institute. (2016). Standart Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91). In *American Concrete Institute* (pp. 2-18). ACI.
- Cagiao Villar , J., Gómez Meijide , B., Doménech Quesada , J., Gutiérrez Mainar , S., Gutiérrez Lanza , H., Martínez Abella , F., & González Fonteboa , M. (2010, Junio). *Huella ecológica del cemento*.
- Gettu, R., Pillai, R., Santhanam, M., & Dhanya, B. (2016). Ways of Improving the sustainability of concrete technology through the effective use of admixtures. *Conference Paper*.
- Kazaz, A., Ulubeyli, S., Er , B., Arslan, V., Arslan, A., & Atici, M. (2015). Fresh ready-mixed concrete waste in construction projects: a planning approach. *Creative Construction Conference 2015*, 268-275.
- Komal Rawarkar, S. A. (2018, Agosto). A Review on Factors Affecting Workability of Concrete. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 7(8).
- LaFargeHolcim. (2018). *Sustainability Report 2018*. Sustainable Development, London.
- Mack-Vergara, Y. L., & Vanderley , J. M. (2017). Life cycle water inventory in concrete production - A review. *Resources, Conservation and Recycling*.
- Mikulcic, H., Cabezas, H., Vujanovic, M., & Duic, N. (2016). Enviromental assesment of different cement manufacturing processes based on Emergy and Ecological Footprint analysis. *Journal of Cleaner Production*.
- Mosquera, J. (2018). Desafíos al diseñar hormigón en la ciudad de Guayaquil. (A. Alejandro, & A. Costa, Interviewers)
- Nadia, A. R. (2015). Propuesta para la gestion integral sustentable de los residuos de construccion y demolicion en el area metropolitana de Guadalajara. Guadalajara: Instituto Tecnoogico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Naik, T. (2008). Sustainability of Concrete Construction. *PRACTICE PERIODICAL ON STRUCTURAL DESIGN AND CONSTRUCTION* .
- Redacción Digital Extra. (2019, Febrero 22). Quito y Guayaquil, entre las ciudades con el peor tráfico de Latinoamérica. *EXTRA*. Retrieved Julio 2019, 10, from <https://www.extra.ec/actualidad/transito-congestion-vehicular-estudio-mundial-BJ2649535>

Ronquillo, C. (2019, 06 28). Proceso de creacion de un nuevo producto. (A. Costa, & A. Alejandro, Interviewers)

Schneider, M., Romer, M., Tschudin, M., & Bolio, H. (2011). Sustainable cement production ' present and future. *Cement and Concrete Research*, 642-650.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A. Caracterización del Material

<b>MUESTRA</b>	2			
<b>Fecha de Muestreo</b>	6/24/2019	<b>Tipo de Agregado</b>		Arena de rio
<b>Laboratorista</b>	Alejandro A., Costa A.	<b>Origen</b>		Rio Bulubulu
<b>Granulometría</b>				
<b>Peso Inicial [g]</b>	801.06			
<b>Tamiz</b>	<b>Retenido [g]</b>	<b>%Retenido</b>	<b>%Retenido Acum</b>	<b>% Pasante Acum</b>
3/4"	0	0.0%	0.0%	100.0%
No.4	44.71	5.6%	5.6%	94.4%
No.8	55.32	6.9%	12.5%	87.5%
No.16	78.3	9.8%	22.2%	77.8%
No.30	179.73	22.4%	44.6%	55.4%
No.50	304.08	37.9%	82.5%	17.5%
No.100	120.63	15.0%	97.5%	2.5%
Fondo	20.15	2.5%	100.0%	0.0%
Peso Final	802.92			
%error	0.23%			
<b>Densidad y Absorción</b>				
Arena en SSS		500.00		g
Matr�az+Arena SSS+Agua MC		997.22		g
Matr�az+Agua MC		800.00		g
Matr�az		191.15		g
Arena Seca		489.32		g
<b>Densidad Relativa (sss)</b>		1.62		kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad (sss)</b>		1612.05		kg/m <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>		2.18		%

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

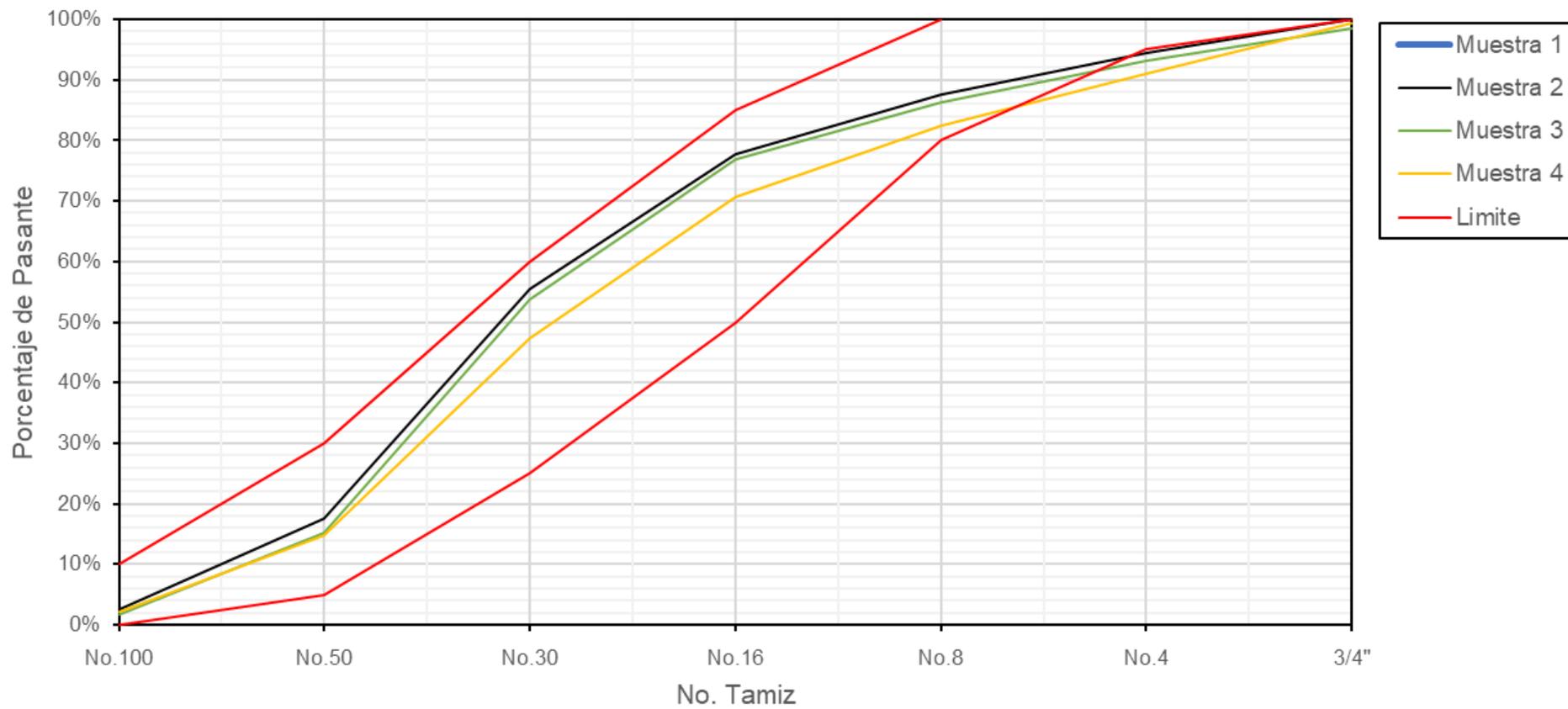
<b>MUESTRA</b>	3			
<b>Fecha de Muestreo</b>	6/24/2019	<b>Tipo de Agregado</b>	Arena de rio	
<b>Laboratorista</b>	Alejandro A., Costa A.	<b>Origen</b>	Rio Bulubulu	
<b>Granulometría</b>				
<b>Peso Inicial [g]</b>	779.1			
<b>Tamiz</b>	<b>Retenido [g]</b>	<b>%Retenido</b>	<b>%Retenido Acum</b>	<b>% Pasante</b>
3/4"	12.39	1.6%	1.6%	98.4%
No.4	41.27	5.3%	6.9%	93.1%
No.8	53.46	6.9%	13.7%	86.3%
No.16	73.35	9.4%	23.2%	76.8%
No.30	179.18	23.0%	46.1%	53.9%
No.50	301.13	38.6%	84.8%	15.2%
No.100	104.94	13.5%	98.3%	1.7%
Fondo	13.61	1.7%	100.0%	0.0%
Peso Final	779.33			
%error	0.03%			
<b>Densidad y Absorción</b>				
Arena en SSS		501.42	g	
Matr�az+Arena SSS+Agua MC		978.37	g	
Matr�az+Agua MC		800.00	g	
Matr�az		170.63	g	
Arena Seca		491.84	g	
<b>Densidad Relativa (sss)</b>		1.52	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Densidad (sss)</b>		1518.68	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Absorción</b>		1.95	%	

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

<b>MUESTRA</b>	4			
<b>Fecha de Muestreo</b>	6/24/2019	<b>Tipo de Agregado</b>	Arena de rio	
<b>Laboratorista</b>	Alejandro A., Costa A.	<b>Origen</b>	Rio Bulubulu	
<b>Granulometría</b>				
<b>Peso Inicial [g]</b>	783.82			
<b>Tamiz</b>	<b>Retenido [g]</b>	<b>%Retenido</b>	<b>%Retenido Acum</b>	<b>% Pasante</b>
3/4"	4.28	0.5%	0.5%	99.5%
No.4	65.3	8.4%	8.9%	91.1%
No.8	67.11	8.6%	17.5%	82.5%
No.16	92.87	11.9%	29.4%	70.6%
No.30	181.94	23.3%	52.7%	47.3%
No.50	253.91	32.5%	85.3%	14.7%
No.100	98.98	12.7%	98.0%	2.0%
Fondo	15.93	2.0%	100.0%	0.0%
Peso Final	780.32			
%error	0.45%			
<b>Densidad y Absorción</b>				
Arena en SSS		500.05	g	
Matr�az+Arena SSS+Agua MC		976.88	g	
Matr�az+Agua MC		800.00	g	
Matr�az		170.84	g	
Arena Seca		488.41	g	
<b>Densidad Relativa (sss)</b>		1.51	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Densidad (sss)</b>		1507.53	kg/m <sup>3</sup>	
<b>Absorción</b>		2.38	%	

**Fuente:** Alejandro A., Costa A.

# Granulometría



## APÉNDICE B. Escenarios

Dosificaciones de hormigón a 1 m <sup>3</sup>																		
<b>Cemento</b>	450																	
<b>Volumen de Arena (%)</b>	31																	
<b>Agua/Cemento</b>	0.35									0.45								
<b>Volumen de Agregado Grueso (%)</b>	34									32								
<b>Plastificante (%)</b>	0.6			0.9			1.2			0.6			0.9			1.2		
<b>Retardante (%)</b>	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0
<b>Cemento</b>	350																	
<b>Volumen de Arena (%)</b>	37																	
<b>Agua/Cemento</b>	0.35									0.45								
<b>Volumen de Agregado Grueso (%)</b>	33									32								
<b>Plastificante (%)</b>	1.2			1.5			1.8			0.6			0.9			1.2		
<b>Retardante (%)</b>	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0
<b>Cemento</b>	250																	
<b>Volumen de Arena (%)</b>	40																	
<b>Agua/Cemento</b>	0.45									0.55								
<b>Volumen de Agregado Grueso (%)</b>	34									33								
<b>Plastificante (%)</b>	1.2			1.5			1.8			1.2			1.5			1.8		
<b>Retardante (%)</b>	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	1.0

Fuente: Alejandro A., Costa A.

**Escenario 4,1**

**Diseño tesis**

**Jueves, 08 de agosto del 2019**

Materiales		Peso Seco	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
		x m3			x m3	x m3	12 lt
		Kg	%Absorción	%Humedad	Kg	Kg	Kg
Cemento	Cemento	350,00	---	---	350,00	350,00	4,20
Piedra 1	No. 67(19mm)	884,00	1,55	0,97	870,51	878,95	10,55
Piedra 2	No.78(12.5mm)	0,00	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
Piedra 3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena 1	Arena Río	985,00	2,52	10,00	960,79	1056,87	12,68
Arena 2	Arena Trit.	0,00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena 3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agua	158,00	---	---	195,70	91,18	1,09
		2377			2377	1,09	0
						2377	Kg
Retardante	0,60	2,10					0,025
Plastificante	0,60	2,10					0,025
	0	0,00					0,000
	0,0	0,00					0,000

28,52

Rel a/c

0,45

**Escenario 4,2**

**Diseño tesis**

**Jueves, 08 de agosto del 2019**

Materiales		Peso Seco	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
		x m3			x m3	x m3	12 lt
		Kg	%Absorción	%Humedad	Kg	Kg	Kg
Cemento	Cemento	350,00	---	---	350,00	350,00	4,20
Piedra 1	No. 67(19mm)	882,00	1,55	0,97	868,54	876,96	10,52
Piedra 2	No.78(12.5mm)	0,00	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
Piedra 3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena 1	Arena Río	985,00	2,52	10,00	960,79	1056,87	12,68
Arena 2	Arena Trit.	0,00	2,65	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena 3		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Agua	158,00	---	---	195,67	91,17	1,09
		2375			2375	1,09	0
						2375	Kg
Retardante	0,80	2,80					0,034
Plastificante	0,60 0,9	2,10					0,025
	0	0,00					0,000
	0,0	0,00					0,000

28,50

Rel a/c 0,45

## **APÉNDICE C. Entrevistas**

### **Entrevista 1**

**FECHA:** 28 de junio del 2019

**NOMBRE DEL ENTREVISTADO:** Ing. Carlos Roquillo

**LOCALIDAD:** Guayaquil

**CARGO:** Jefe de Portafolio del Cemento

**Según la descripción del cemento hidráulico tipo HE, este está compuesto por Clinker de cemento Portland, yeso y adiciones de puzolanas naturales. ¿Qué tipo de cemento es el Cemento Hidráulico tipo HE? (IS: Cemento Portland de escoria de altos hornos; IP: Cemento portland puzolánico; IT: Cemento portland ternario)**

El Cemento HE es de altas resistencias iniciales, es fabricado con el alcance a la norma INEN 2380 esta norma clasifica las normas por su desempeño y no por sus componentes y en este caso específico, elevadas resistencias iniciales. Lo importante es el desempeño y no los componentes, así que van sobre una base cierta, por ello la empresa ya ha buscado una composición y la finura óptima a la que este molido el cemento.

**¿Qué tipo de Puzolana usan?**

Es una puzolana natural, es de origen volcánico que tiene actividad hidráulica y que ayuda a mitigar la reacción álcali-agregado. Se tiene unas concesiones en un sector de la zona Central del País donde está ubicada la planta de molienda y ahí mismo se encuentran los yacimientos de la puzolana natural.

**¿Qué porcentaje de escoria o puzolana tiene el producto? ¿Y qué beneficios le da esto al cemento sobre los otros componentes?**

El porcentaje de adiciones puzolánicas es alrededor de 14-17%. Cuando se establece el porcentaje de puzolanas se busca mejorar las resistencias iniciales y adicionalmente también darles resistencia a los sulfatos. Por ende, los beneficios son definitivamente de durabilidad, pues ayuda a mitigar la reacción álcali-agregado, ayuda a tener una muy baja deformación volumétrica causada por una deformación de un ambiente agresivo compuesto con sulfatos y al reaccionar con

el Clinker también da productos cementantes de modo que, si esta está molida de manera óptima, nos va a ayudar a dar resistencias tardías (de más de 28 días)

**¿La empresa realiza mejoras constantes a sus productos, cada que tiempo se realizan estas mejoras? ¿Qué departamento las realiza y que opina usted acerca de ello?**

Tenemos un procedimiento corporativo para el desarrollo de nuevos productos y servicios, en el cual participo en el desarrollo de productos, específicamente del cemento. En este procedimiento hay cinco etapas, la primera es la identificación de una oportunidad en el mercado, lo que le continúa es una etapa de laboratorio, plantas piloto o de molineras industriales, pero todo a nivel de prueba. Finalmente, una serie de pruebas en el mercado con una revisión planificada a un año o menos dependiendo del producto y el segmento del mercado. Una vez está listo, ya hay una decisión corporativa de ponerlo en el mercado. En la revisión se hace un análisis en cuanto al desempeño que tiene el producto, su impacto en el mercado lo que incluye un estudio de como lo ve el cliente y como se ha desarrollado la competencia. De modo que en función de esos resultados ahí se define si es que hay que hacer un ajuste en el producto, si necesita reforzar el marketing o inclusive si es necesario cambiar a otro producto o darle otro enfoque donde la decisión se toma en base a el mercado. Las variables van desde la aceptación que el producto ha tenido en el mercado hasta su perspectiva de crecimiento. Las decisiones son en realidad basadas en el mercado. Los que ejecutan son el área de Innovación y Marketing. En primer lugar, marketing, pues son ellos que por medio de estudios de mercado y encuestas van trayendo un input para nosotros para saber cómo se está recibiendo y percibiendo el producto. Luego estamos nosotros como Centro de Innovación, Customer Solution y las Plantas de Cemento.

**¿Qué estándares debe cumplir un nuevo producto para salir al mercado, además de la Norma?**

La calificación final, la pone el mercado, los clientes. Porque primero se hace a escala de prueba en el laboratorio y nosotros como técnicos, podemos crear algo que para nosotros es perfecto, pero luego si se lo lleva a los clientes, maestros de obra, de varias ciudades, donde se les hace hacer la prueba a muchos maestros de

mi nuevo producto, y si yo por ejemplo, he diseñado un producto que tiene mejor trabajabilidad y él no lo nota entonces puede ser que en mi laboratorio yo vea unas propiedades pero mis clientes no lo perciban, así que lo importante es que sea perceptible por el cliente. Él debe recibir una muestra que no sabe que es, trabajarlo y que al final de una encuesta como no está sesgado, él tiene que decir que el producto es bueno porque es fácil de mezclar, y es recién ahí que yo estoy validando lo que yo hice a escala de laboratorio. De lo contrario, así como nos ha pasado antes con la innovación de otros productos que en las pruebas de laboratorio cumplen espectacularmente y sin embargo al llevarlos al mercado, los clientes no perciben una diferencia entre el producto nuevo y el que ya está en el mercado de modo que se debe llevar a laboratorio a rediseñar todo, hacer los cambios necesarios, hasta que nosotros veamos un cambio considerable para volverlos a llevar a las pruebas en el mercado, y una vez que ellos lo perciben, ahí recién está listo para sacarlo al mercado. También sucede que en laboratorio tenemos por ejemplo unas cuatro recetas a probar, y al llevarlas al mercado no siempre es la que tiene mejor desempeño la que mejor perciben ellos. Por lo tanto, se hace una evaluación estadística de maestros de varias ciudades y de diferentes tipos de obra donde la mayoría de ellos deben coincidir en la misma opinión. Los porcentajes de lo que implica la mayoría lo establece marketing, en algunos se definió 70% de aceptación, en otros 75 era poco, y se definió un 85% de aceptación.

**¿Qué opina acerca del uso del cemento en la obra civil: se encuentra en aumento o decrecimiento?**

El sector de la construcción actualmente sigue deprimido y que el crecimiento del sector de la construcción es realmente muy bajo, menor a 1%. Entonces con ese panorama, al igual que los demás materiales de la construcción, la demanda del cemento está atenuada, no hay un crecimiento. Y en el caso específico del cemento compite con otros materiales como el hierro para estructuras, para acabados madera, ahora está entrando el plástico y algunos sintéticos como el poliestireno también los morteros listos, empastes, que más o menos pueden cumplir una función parecida a la del cemento. Cada vez se encuentran más productos en el mercado donde usualmente tratan de entrar

a donde ha sido mercado de cemento por ejemplo en el tema de acabado, 20 a 25 años atrás nadie pegaba morteros pre-preparados sino con cemento directamente, poco a poco los morteros listos han ido entrando en ciertos nichos de mercado donde compiten con el cemento.

## **Entrevista 2**

**FECHA:** 8 de agosto del 2019

**NOMBRE DEL ENTREVISTADO:** Ing. Eduardo Torres

**LOCALIDAD:** Durán

**CARGO:** Gerente de Target Market Concreto

### **¿A qué se debe el uso de aditivos en las mezclas de hormigón?**

Los aditivos permiten mejorar la eficiencia del cemento, y por ende el de los hormigones por eso es por lo que hoy en día está en auge el explorar sus efectos

### **¿Qué recomendaciones da al agregar los aditivos a la mezcla? ¿Cuál es el procedimiento que recomienda?**

En primera instancia, al mezclar varios aditivos es mejor es adicionarlos por separado, puesto que al mezclarlos puede producirse una reacción que los inhabilita. No se recomienda mezclar el aditivo con el agua total de mezclado pues el agregado muchas veces está seco y este lo puede absorber sin dar el efecto deseado, pero si con una pequeña porción para una mejor distribución sobre todo cuando los hormigones tienen dosificaciones muy bajas y tenga mejor eficiencia

### **¿Como funciona el retardante? ¿Cuál es su componente principal y que proceso químico se desarrolla?**

Son en base a poli-carboxilatos, el cual está compuesto de polímeros combinados que en el caso del aditivo retardante el aditivo envuelve el grano del cemento donde inhibe el proceso de fraguado, donde luego llega un momento en el que se rompe la reacción, el cual le permite estar unido todo mientras postpone el proceso de hidratación, evitando que este proceso continúe con normalidad. Adicionalmente, según la clasificación de la ASTM 494 no entra dentro de la clasificación de retardante puro, pues este retardante va a permitir la reducción de agua, pero por proveer materias primas para que el hormigón fluya, pero debido al adicionar un líquido aumenta la jalea del hormigón.

### **¿Como funciona el plastificante? ¿Cuál es su componente principal y que proceso químico se desarrolla?**

Mejora la trabajabilidad del hormigón, es un superplastificante, el cual permite hacer mayor reducción de agua. A nivel químico hace un proceso donde se cargan las partículas de cemento a fin de que se suelte al tener cargas iguales igual produciendo una dispersión por efecto electroestático. Adicionalmente se producen la reacción estérica que hace que el efecto electroestático se mantenga por más tiempo.

### **¿Qué puede afectar el efecto que tienen los aditivos en la mezcla de hormigón?**

Aunque este interactúa principalmente con el cemento, este también se ve afectado por el tipo de agregado que usan en las plantas de hormigón premezclado, los poli-carboxilatos se ven afectados por la forma del agregado o la granulometría pues se ve que los pasantes del tamiz 200 los absorben. La sedimentación de los aditivos también es un factor por ello se deben recircular para que no se sedimenten los sólidos.

### **¿Como estos aditivos afectan las resistencias tempranas y tardías del hormigón?**

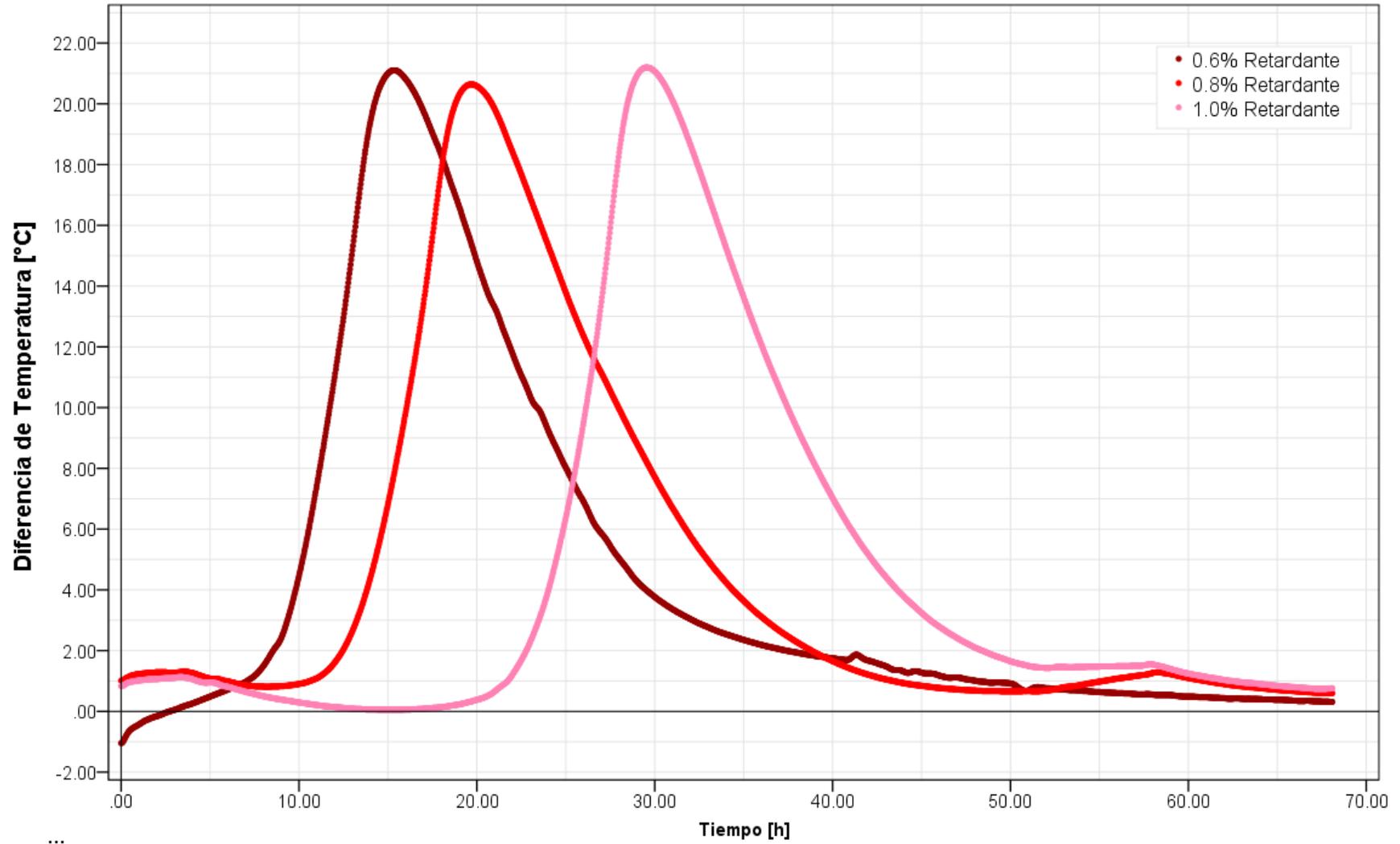
En dosis muy altas, pueden afectar las resistencias tempranas debido a un retardo en el fraguado, sin embargo, si estos se dejan encofrados hasta que fragüen, se observará una mejora en las resistencias tardías debido a que la hidratación es más lenta.

### **¿Existe un equivalente comercial?**

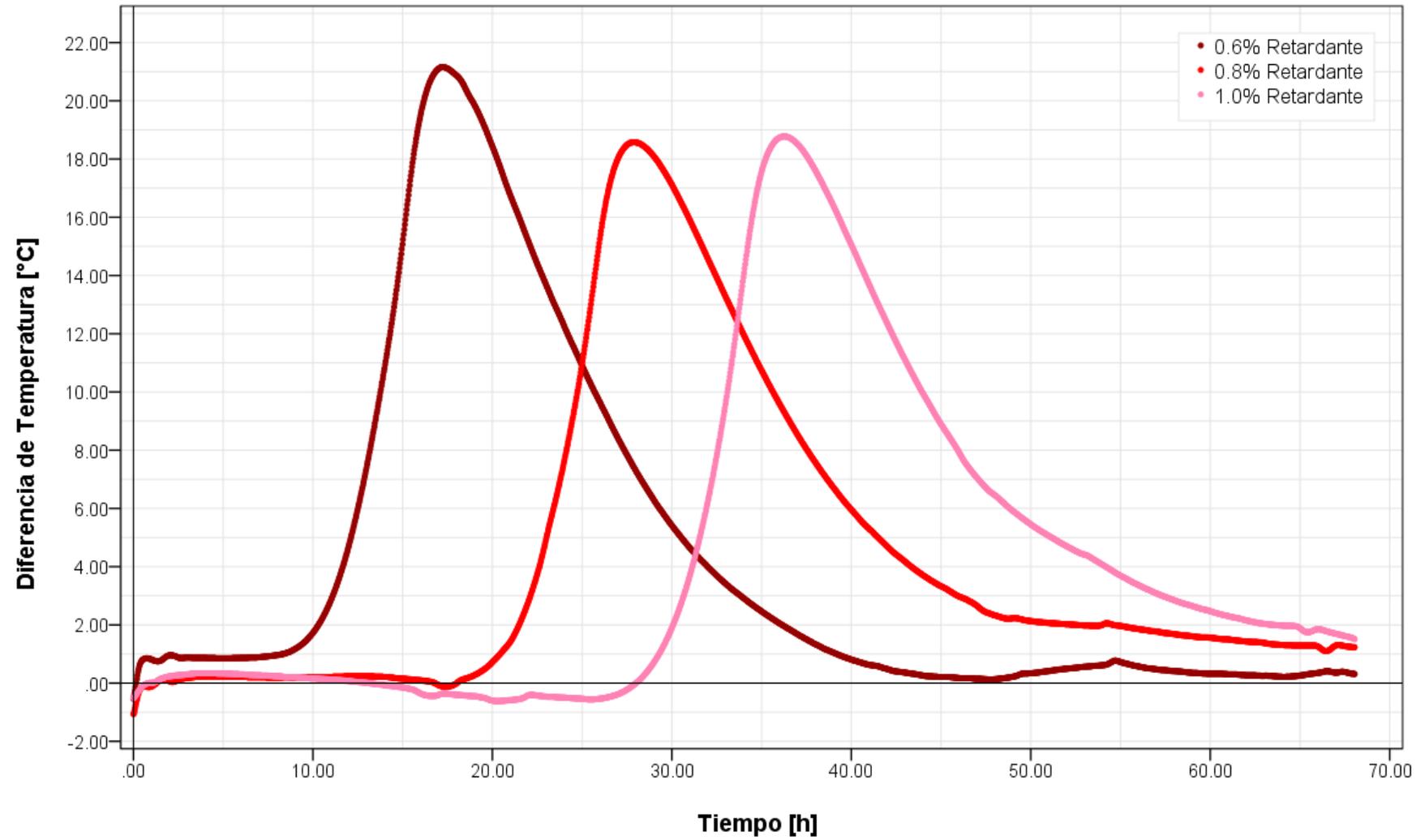
No existen equivalentes comerciales, debido que se diseña los aditivos según el cemento y una dosificación típica. Estudios en la compañía han demostrado que el aditivo cambia de comportamiento según el tipo de cemento.

# APÉNDICE D. Resultados de Calorimetría

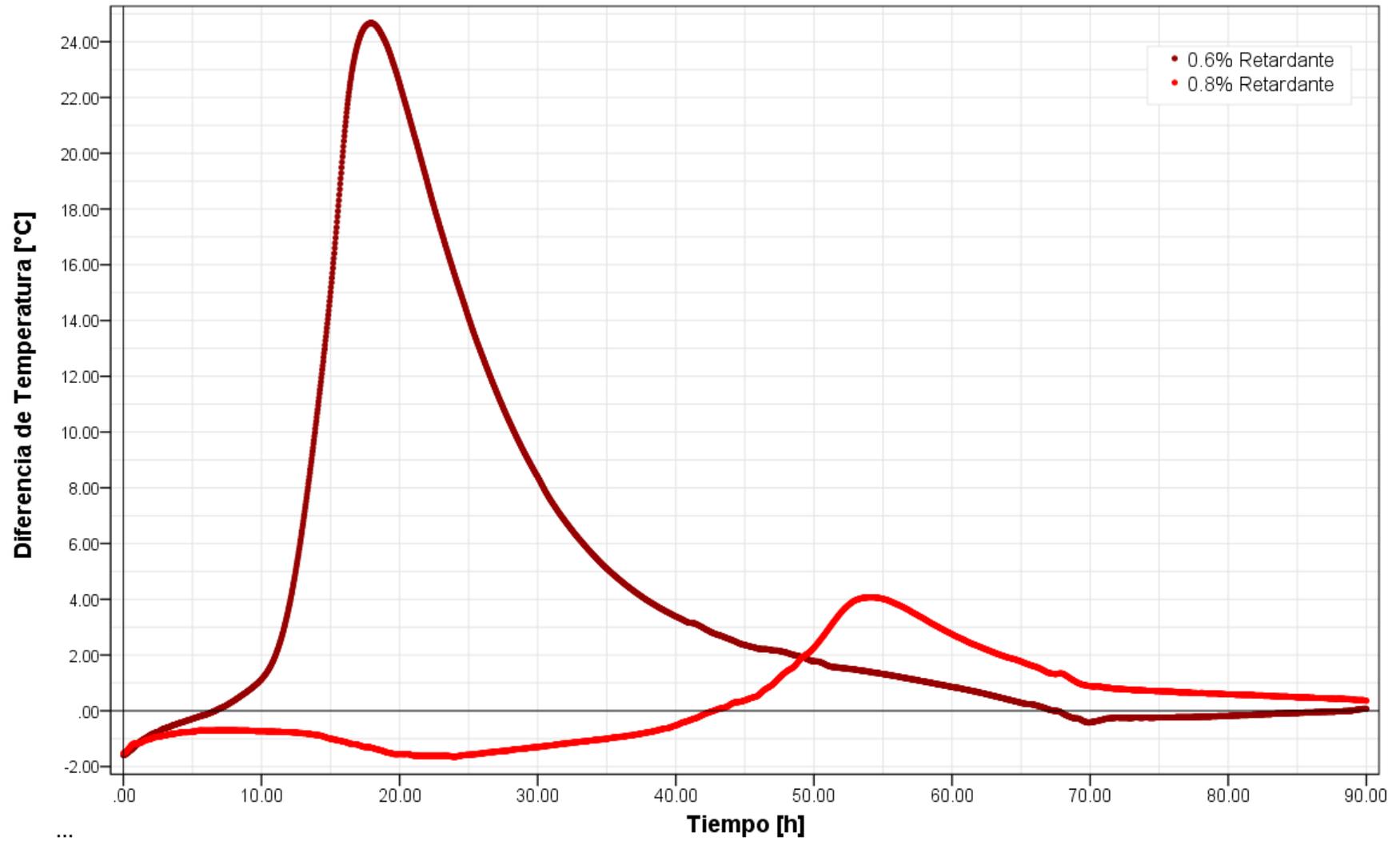
Contenido de Cemento 450, Relación A/C=0.35, 0.9% Plastificante



Contenido de Cemento 450, Relación A/C=0.35, 1.2% Plastificante

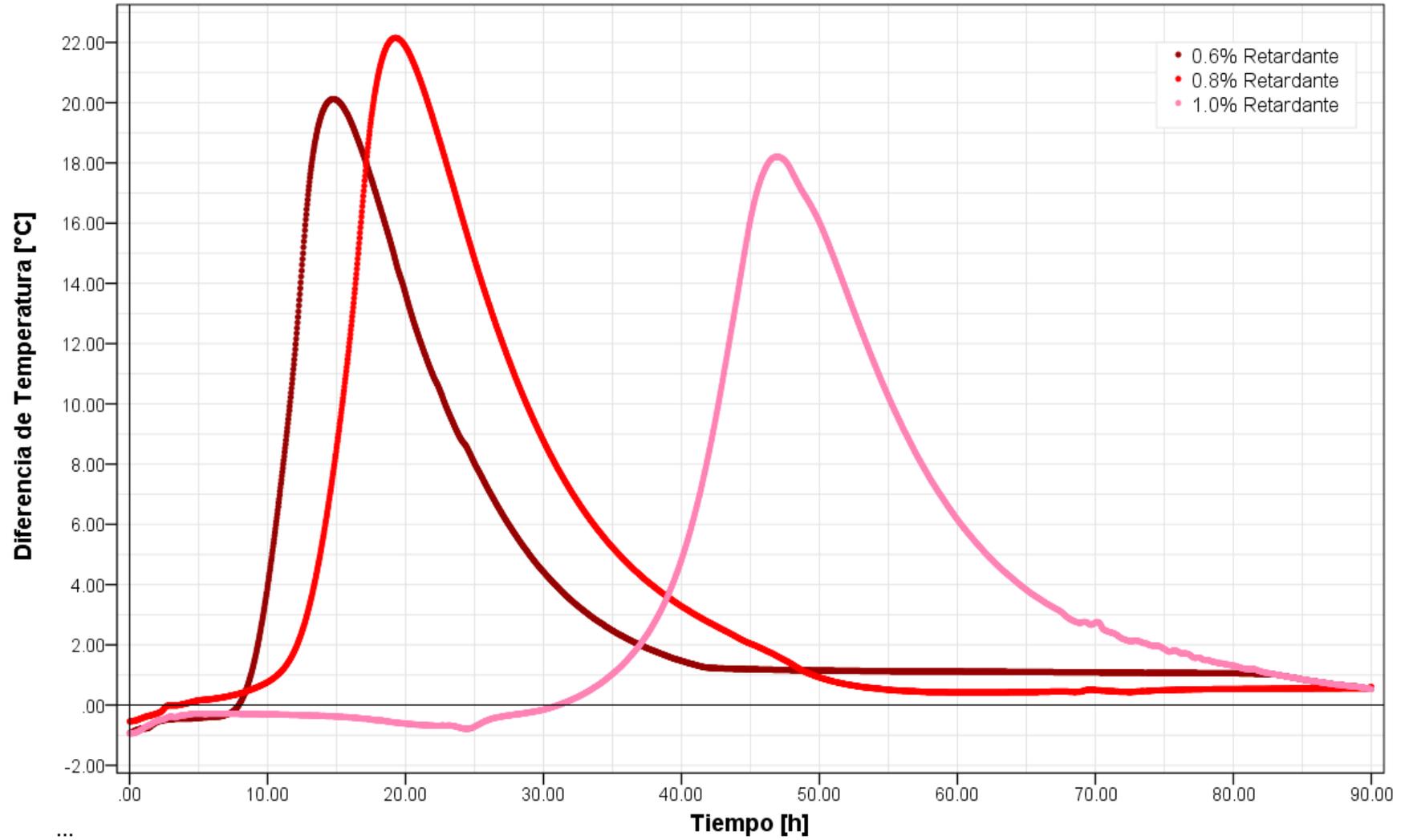


Contenido de Cemento 450, Relación A/C=0.45, 0.6% Plastificante



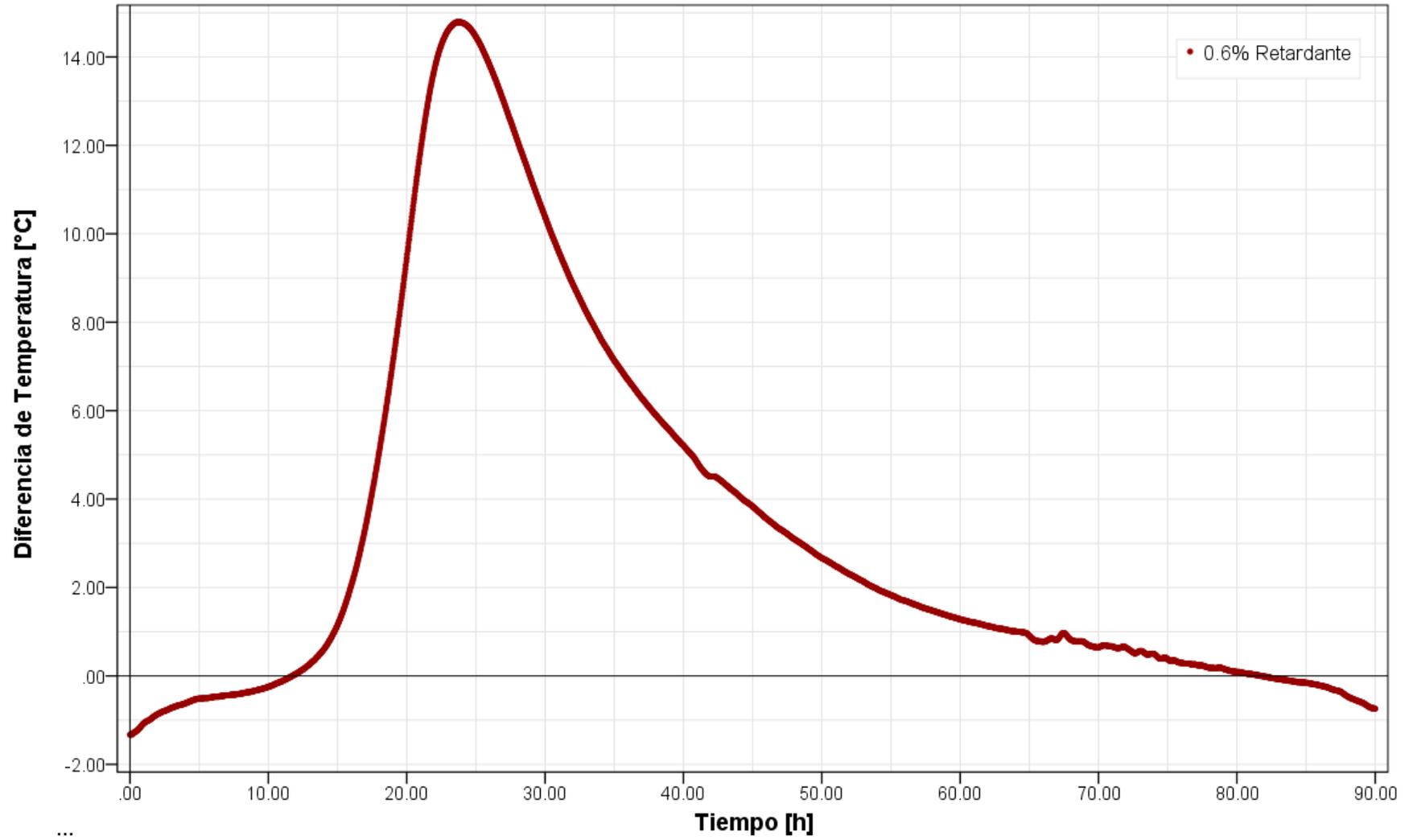
...

Contenido de Cemento 450, Relación A/C=0.45, 0.9% Plastificante



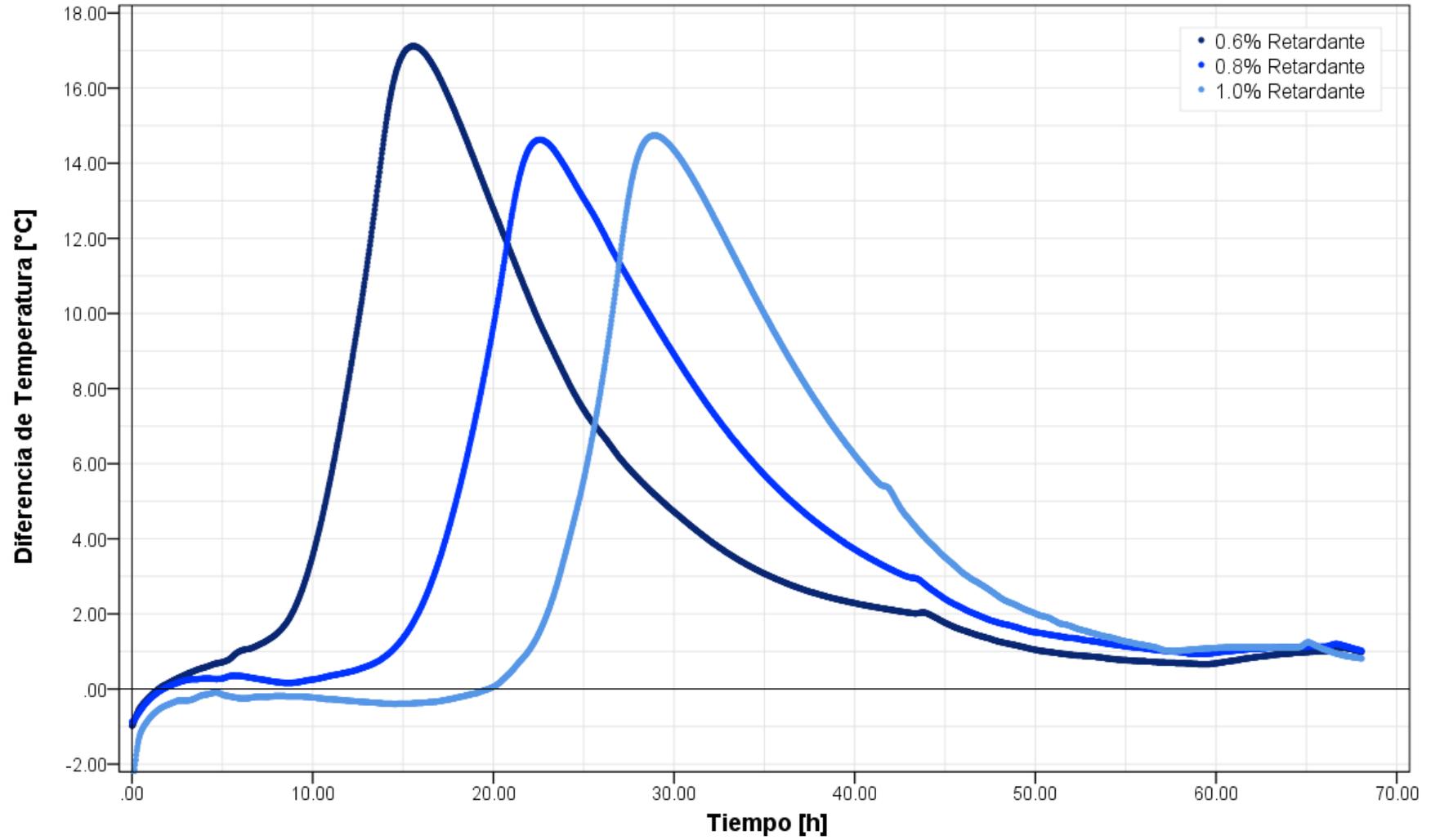
...

Contenido de Cemento 450, Relación A/C=0.45, 1.2% Plastificante

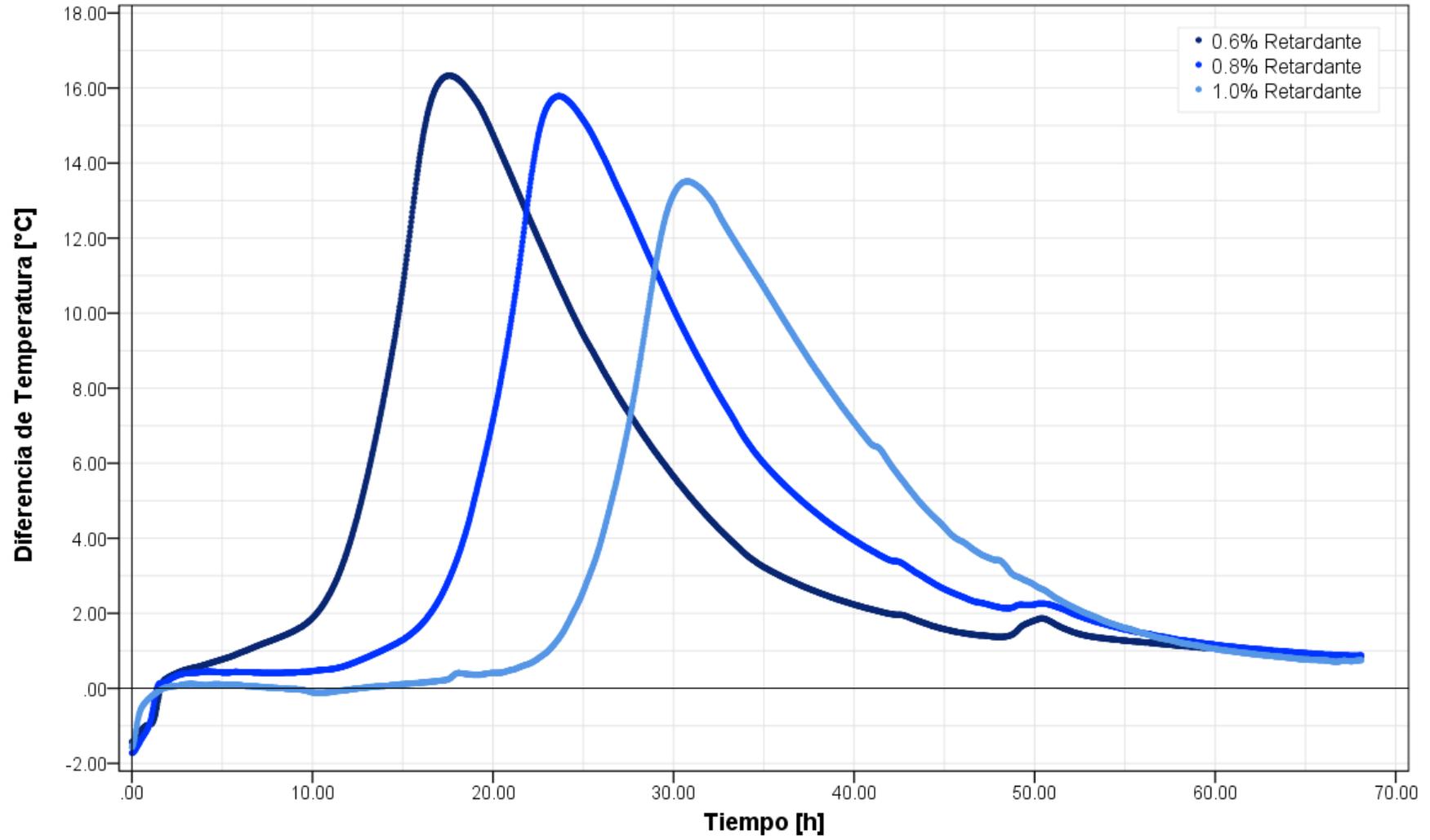


...

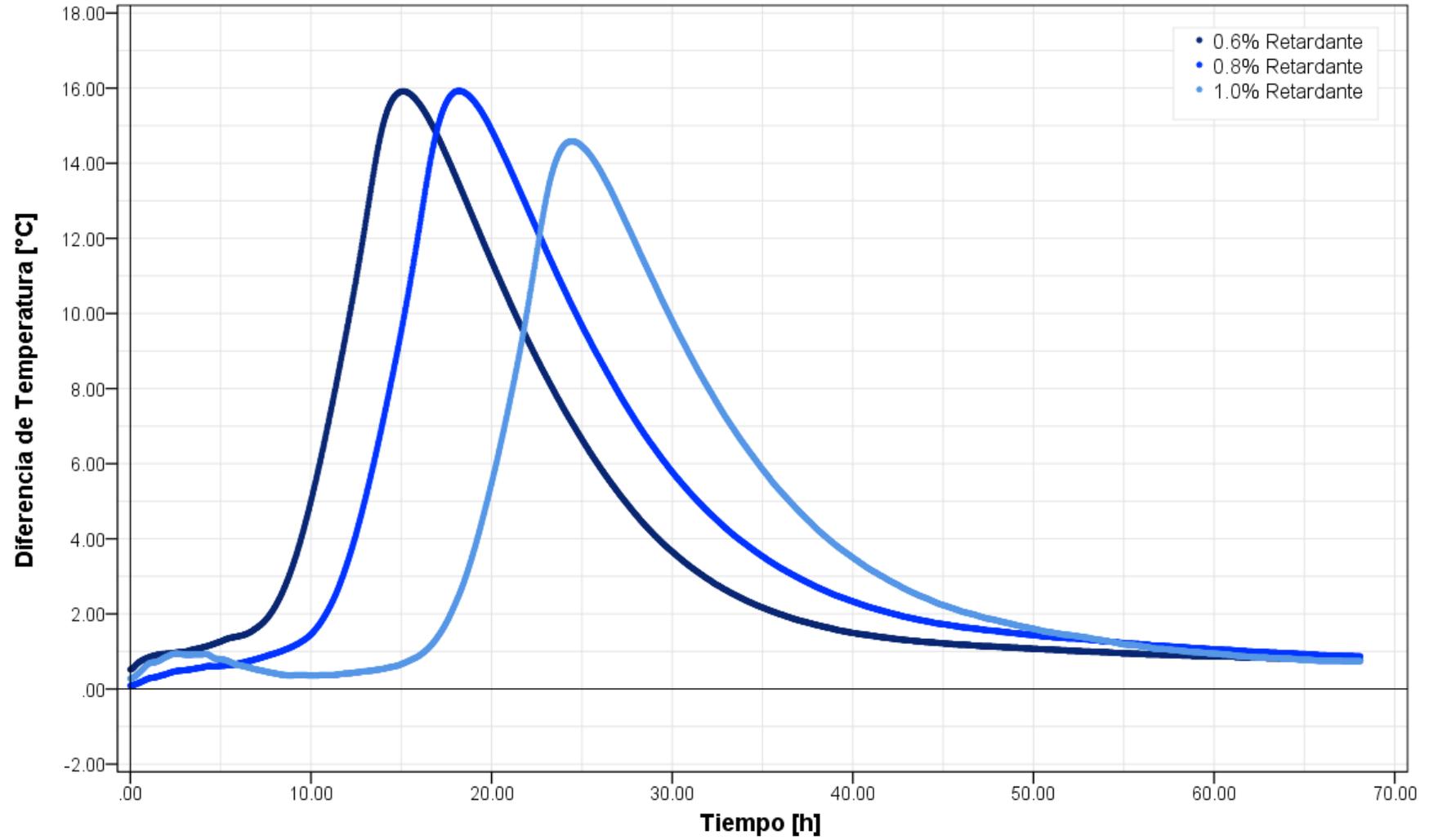
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.35, 0.6% Plastificante



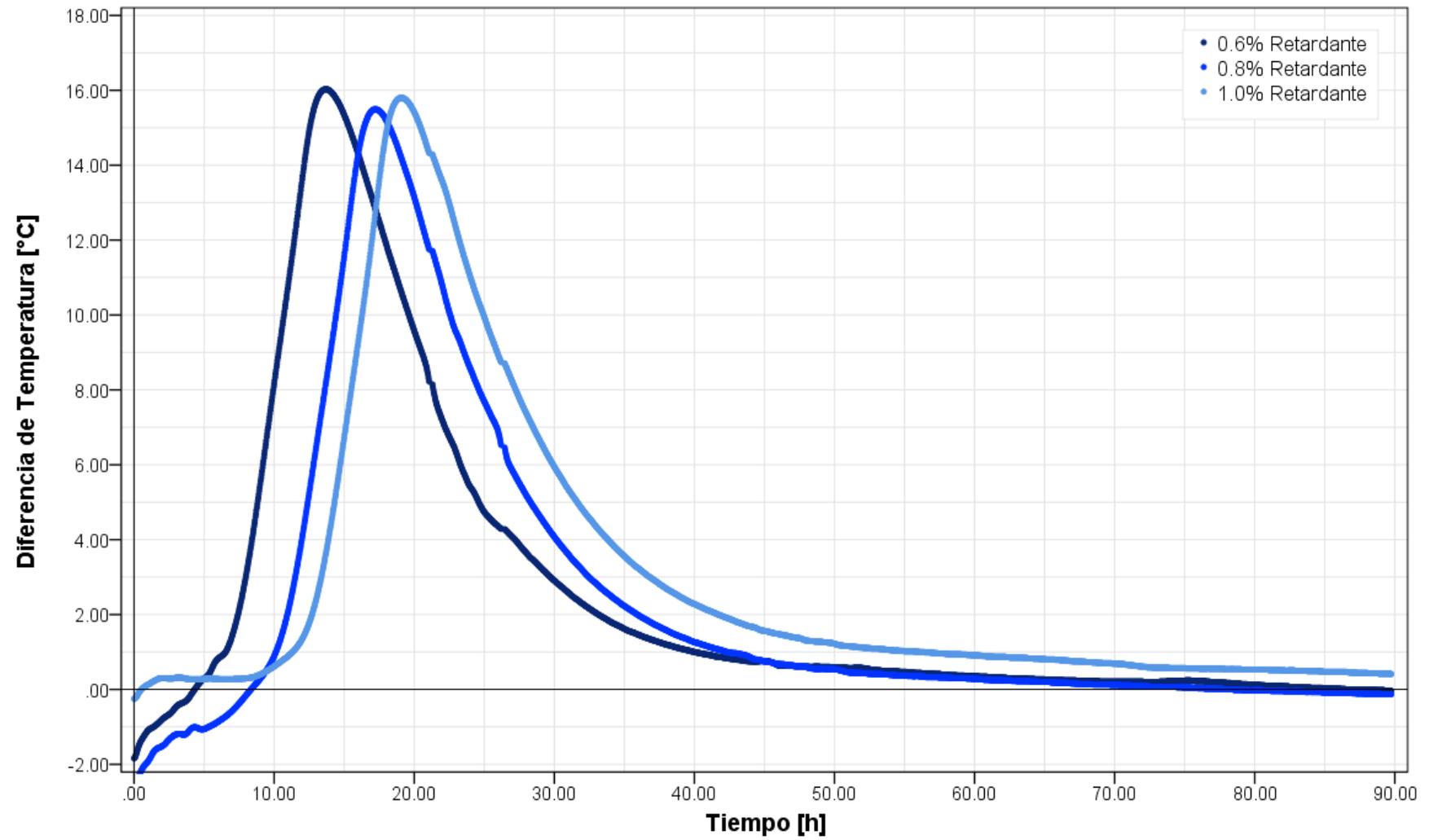
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.35, 0.9% Plastificante



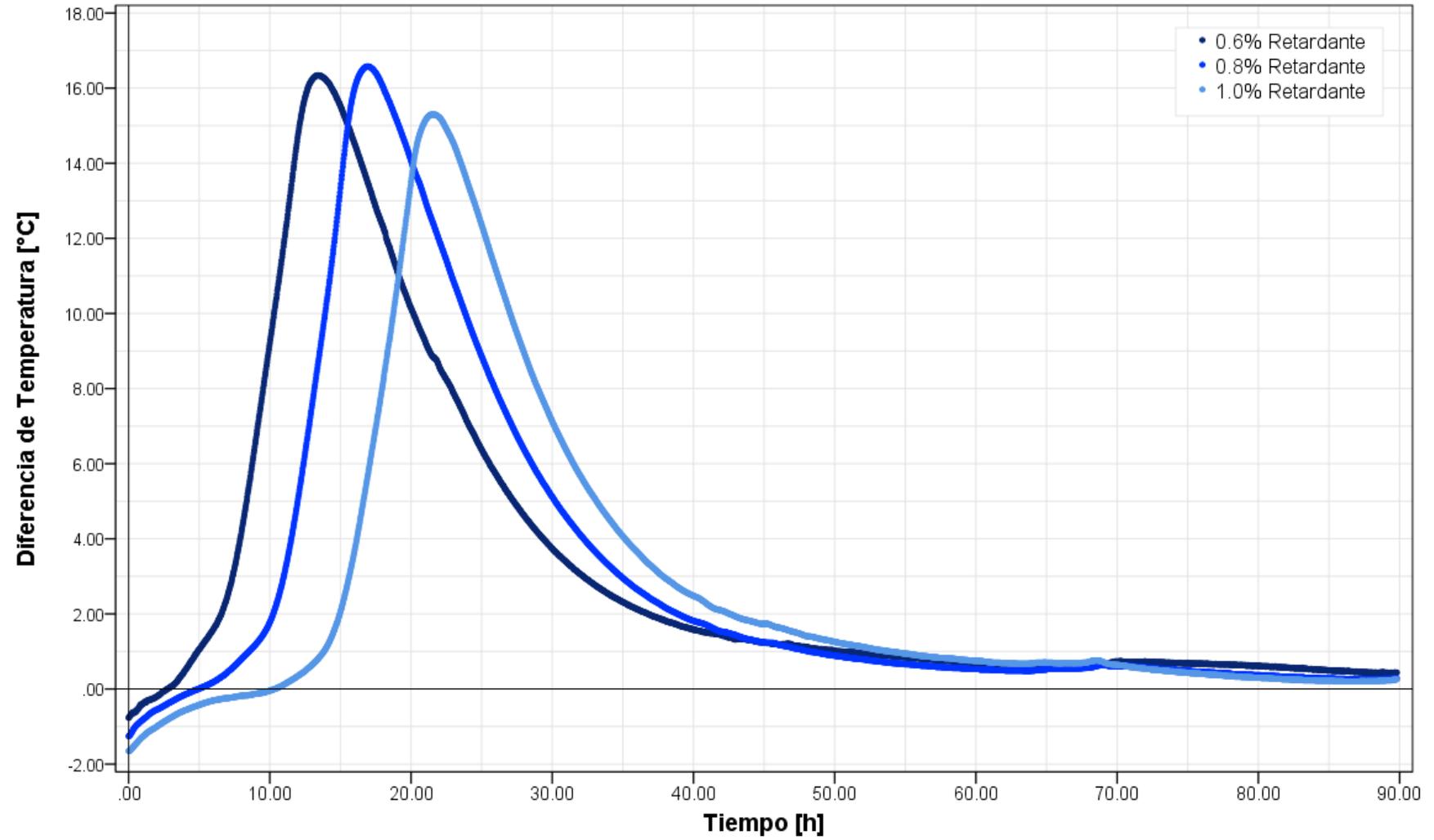
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.35, 1.2% Plastificante



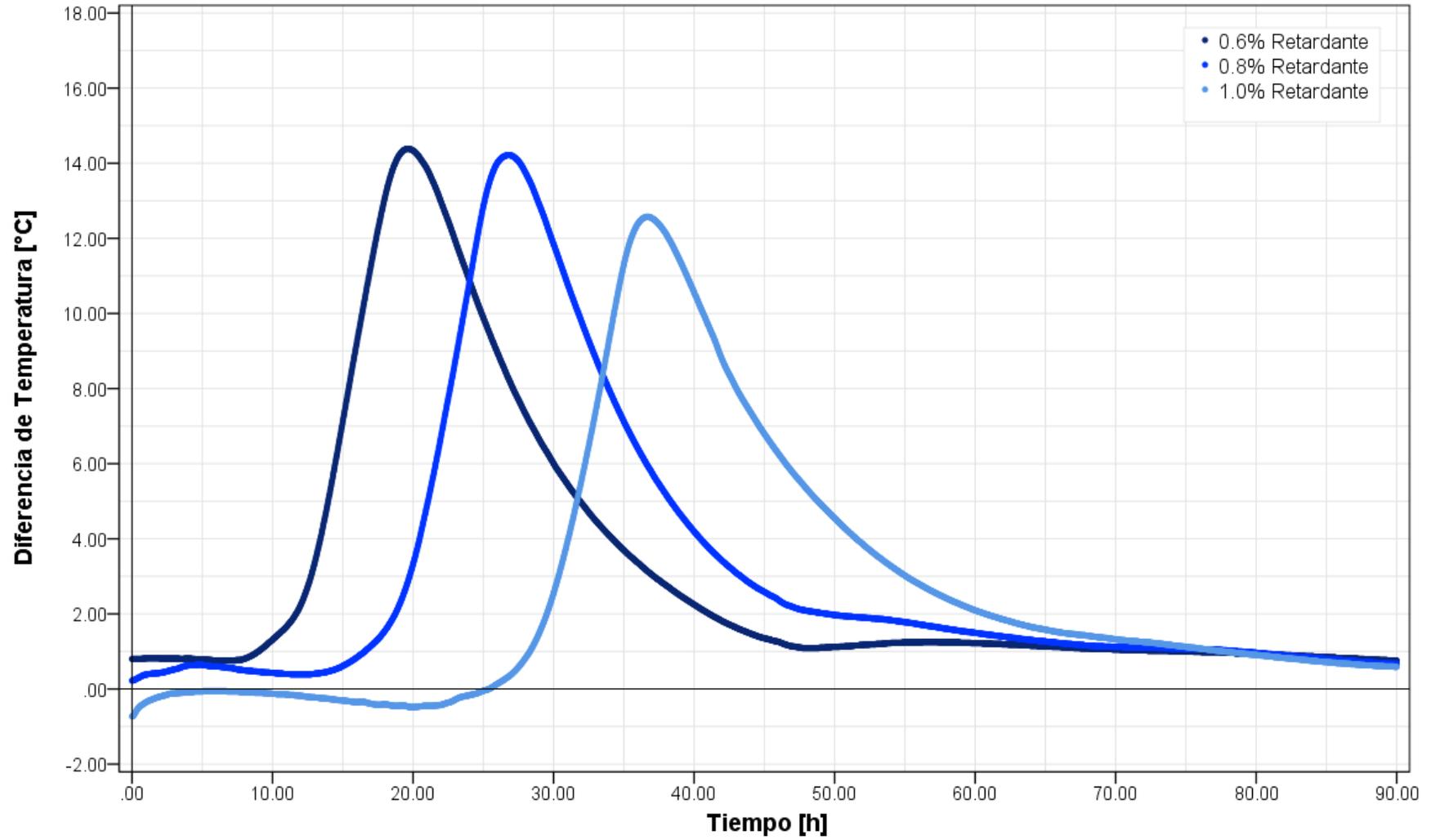
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.45, 0.6% Plastificante



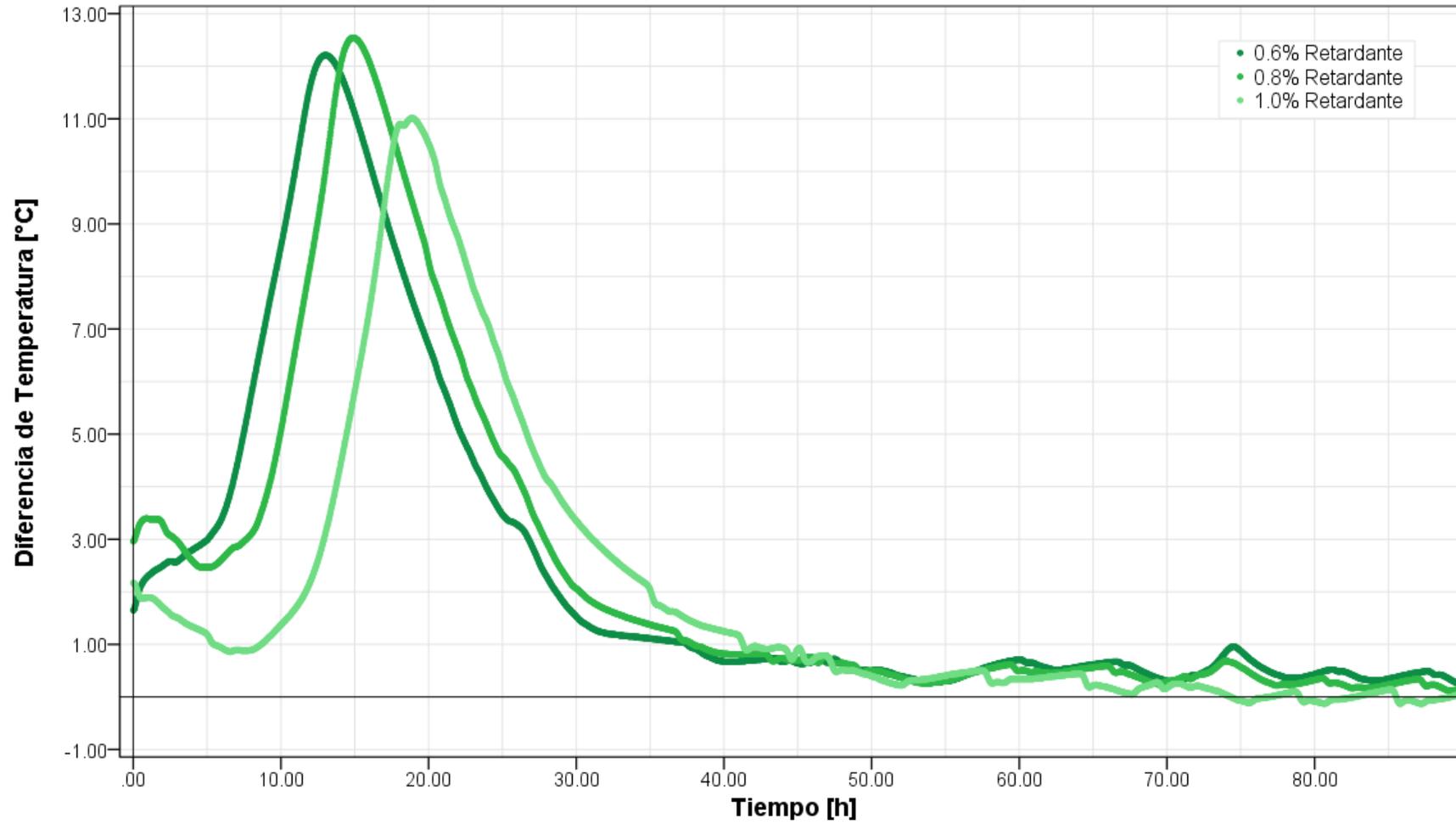
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.45, 0.9% Plastificante



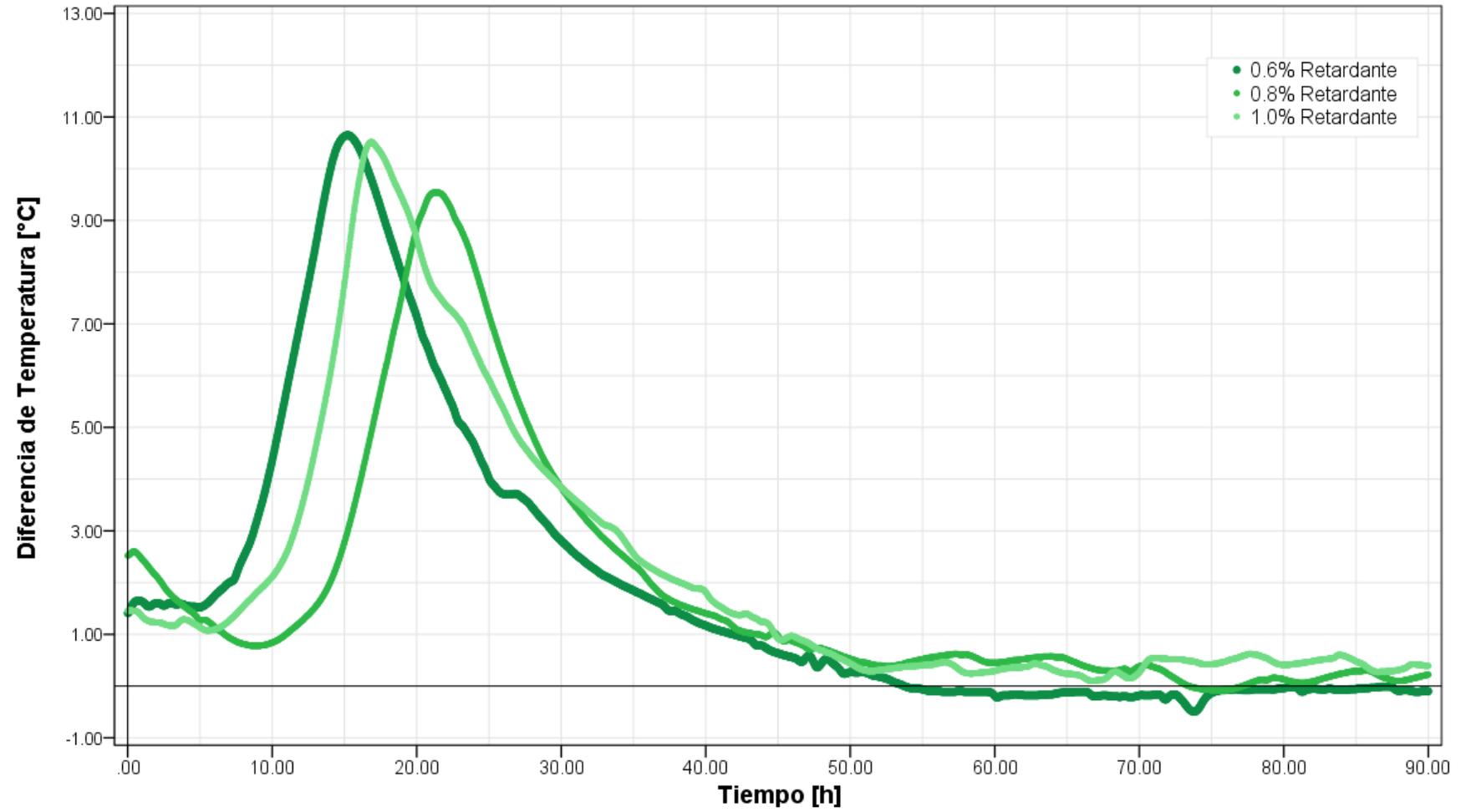
Contenido de Cemento 350, Relación A/C=0.45, 1.2% Plastificante



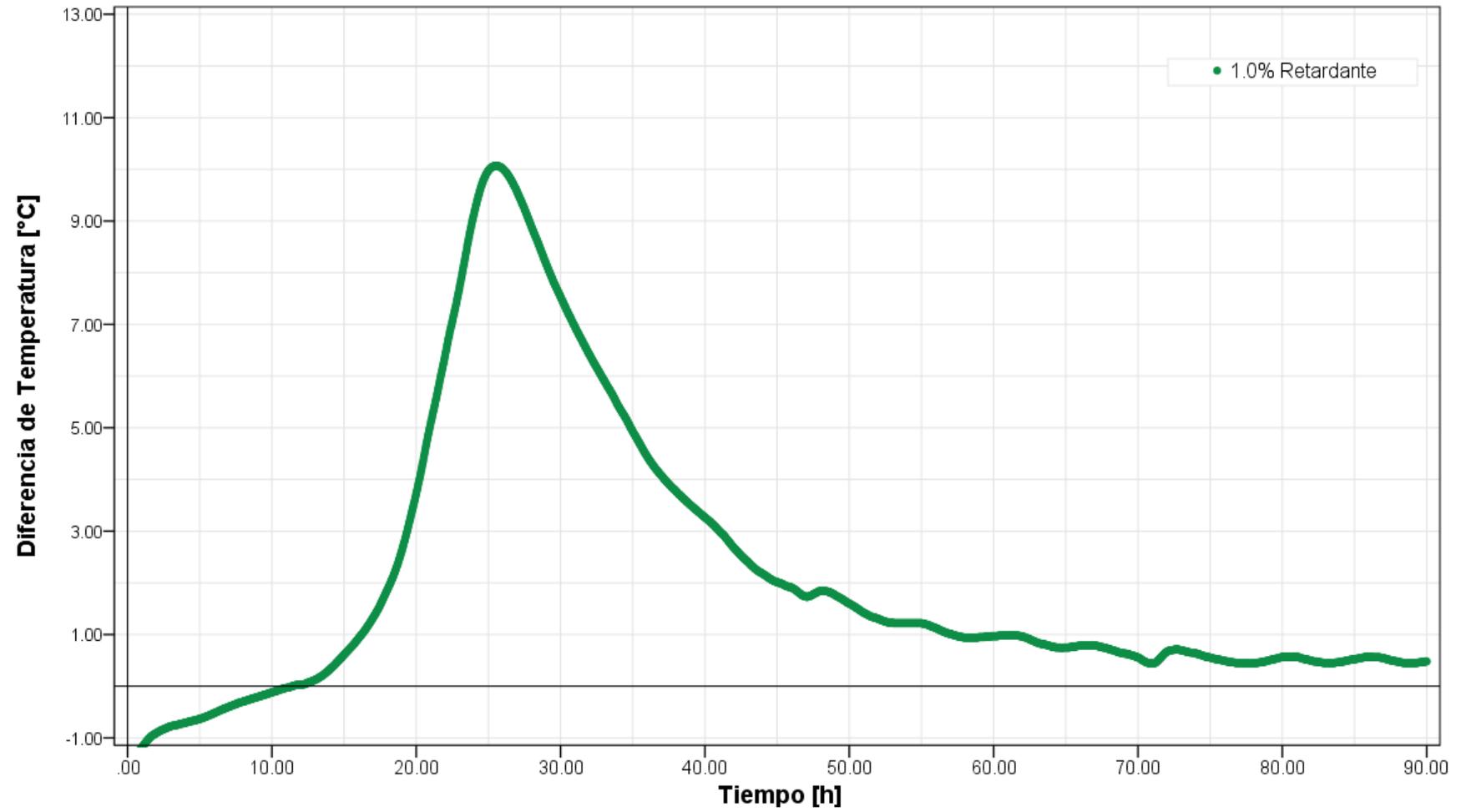
Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.45, 1.2% Plastificante



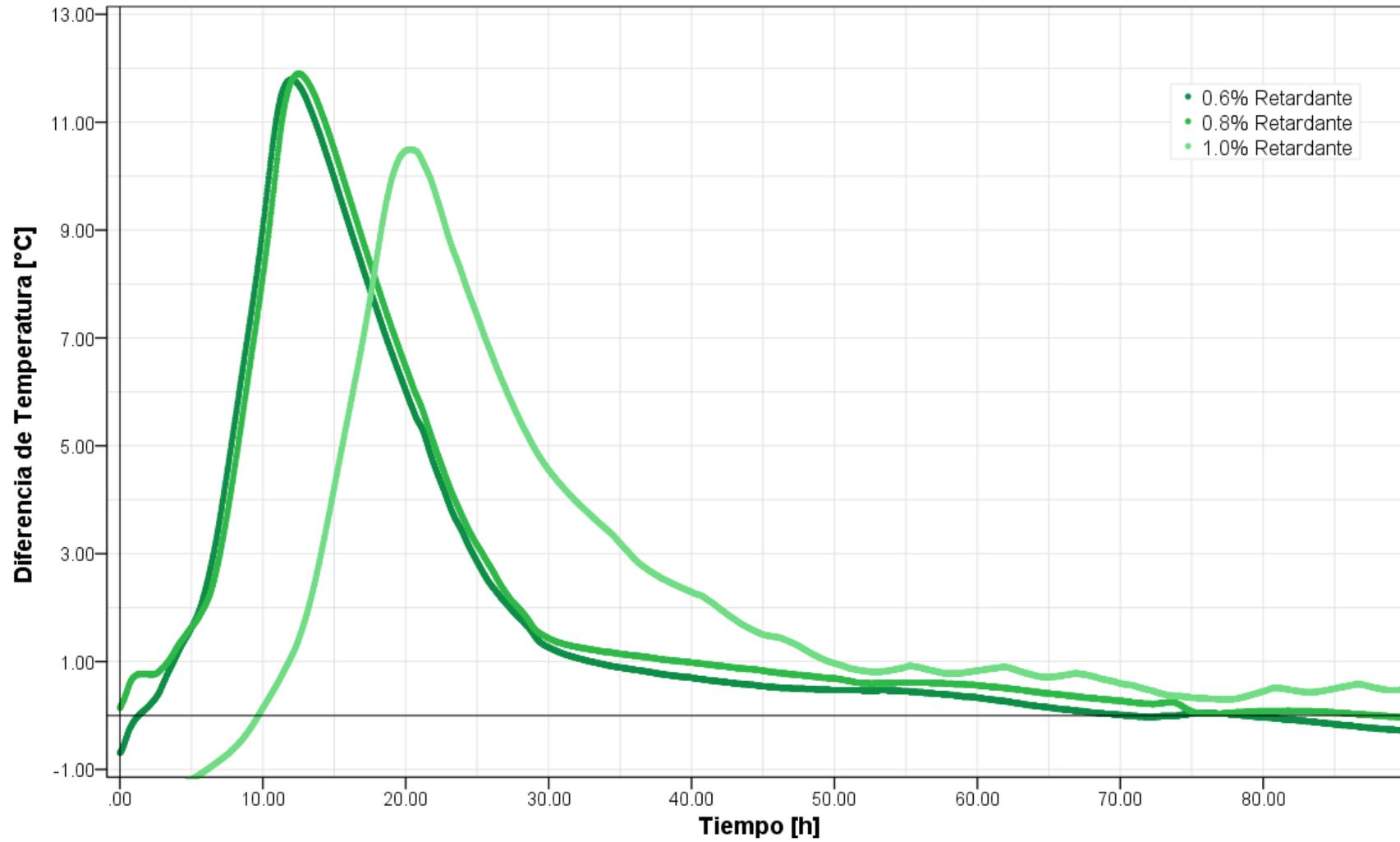
Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.45, 1.5% Plastificante



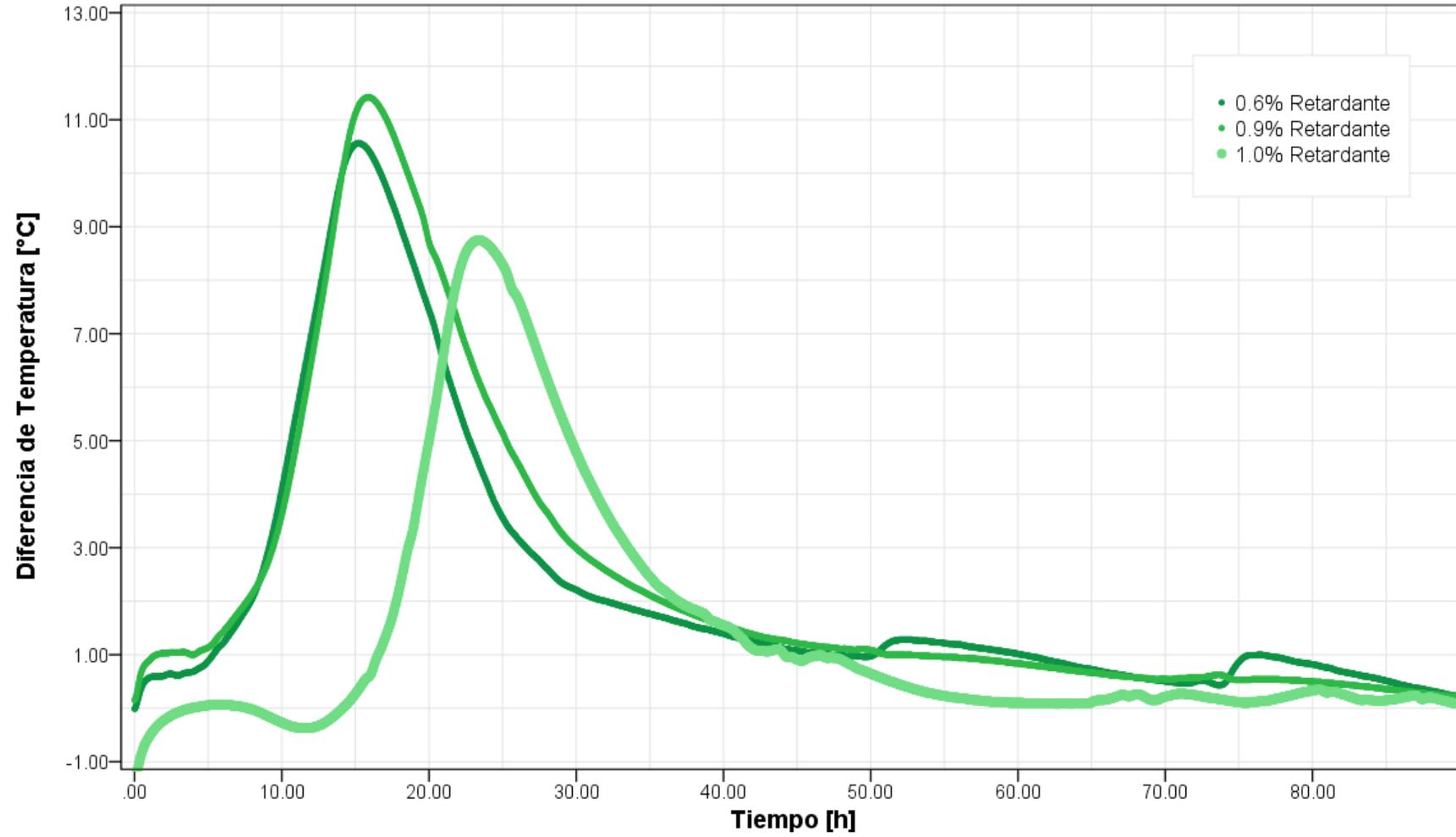
Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.45, 1.8% Plastificante



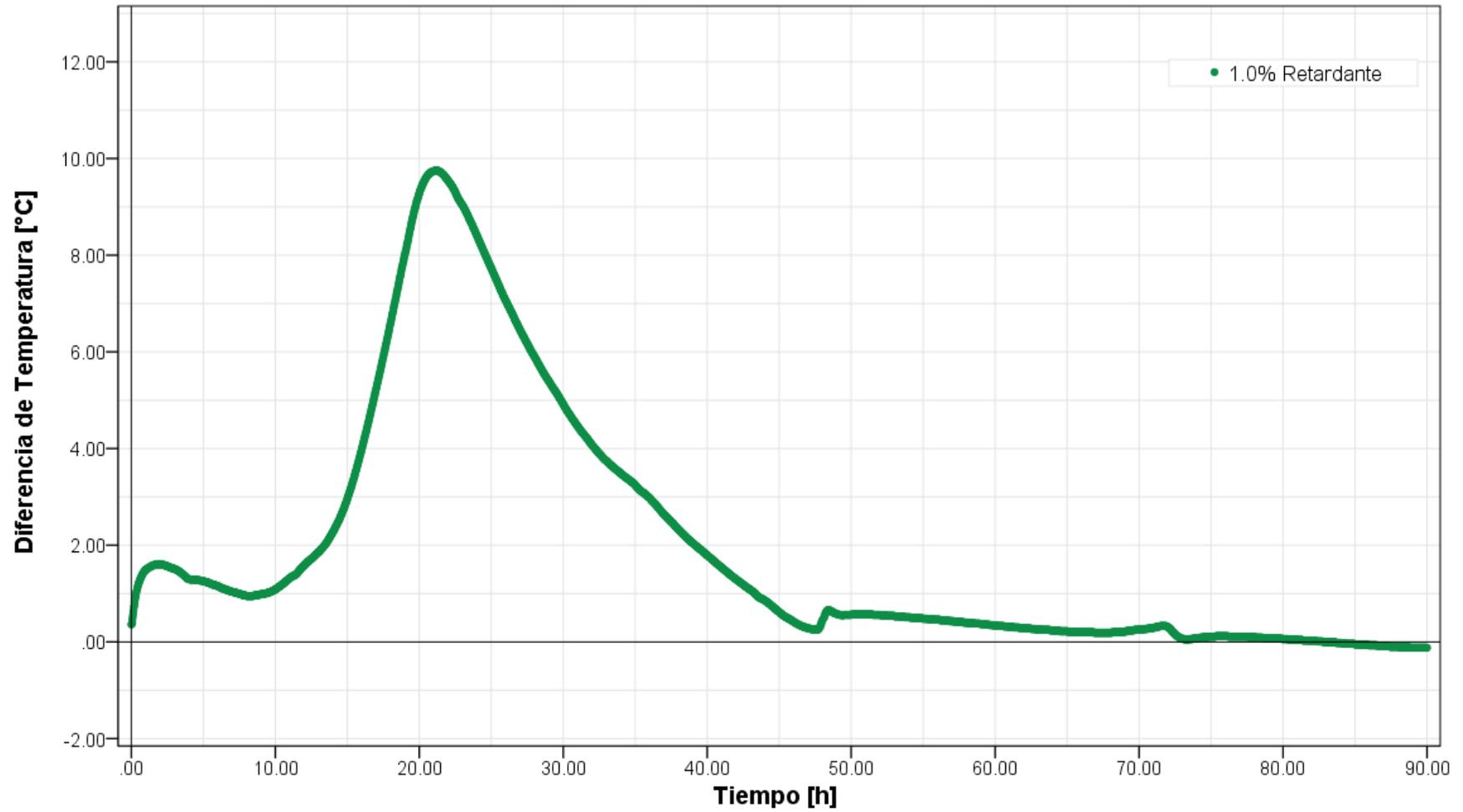
Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.55, 1.2% Plastificante



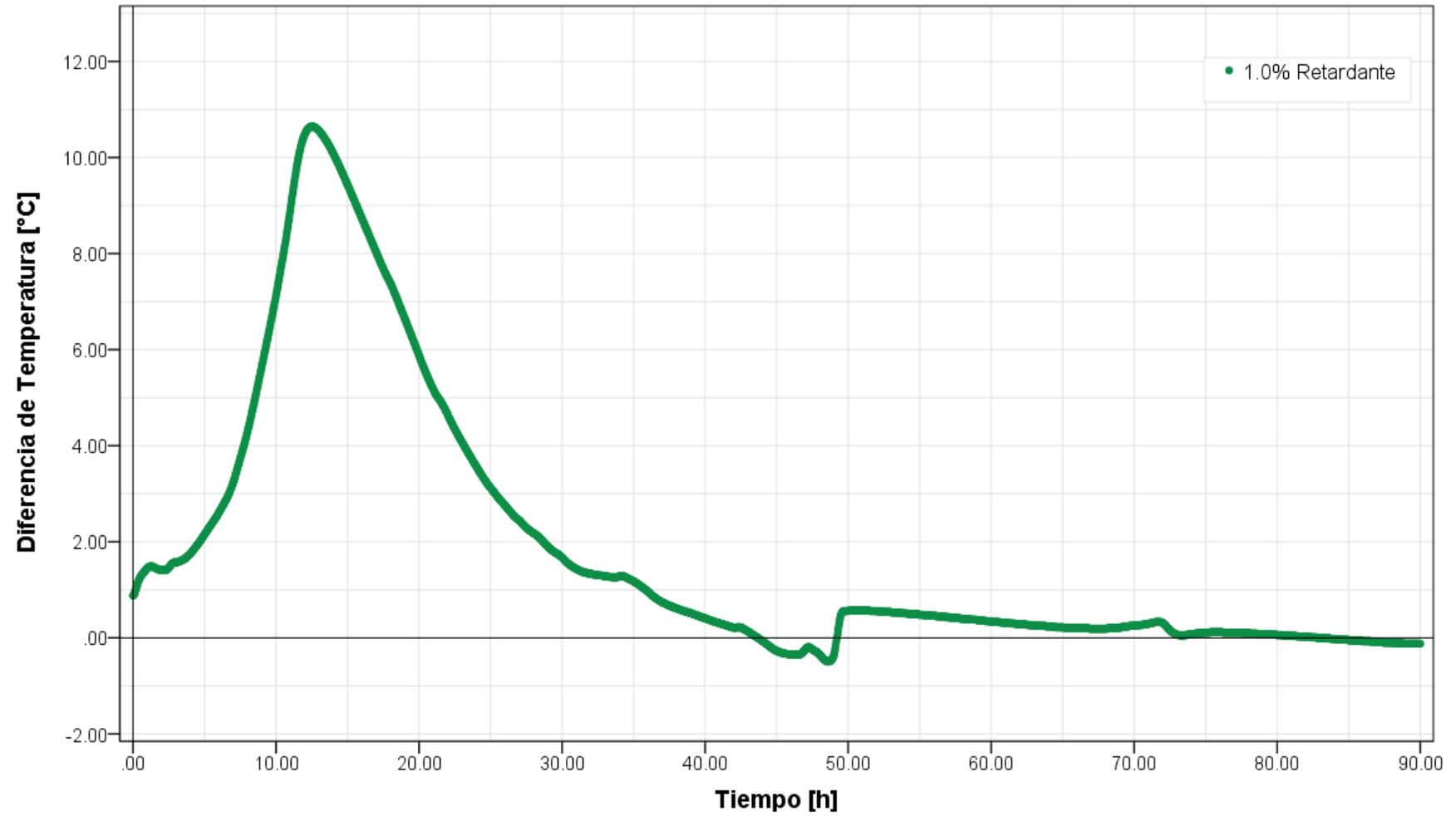
**Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.55, 1.5% Plastificante**



**Contenido de Cemento 250. Relación A/C=0.55. 1.8% Plastificante**



Contenido de Cemento 250, Relación A/C=0.65, 0.6% Plastificante



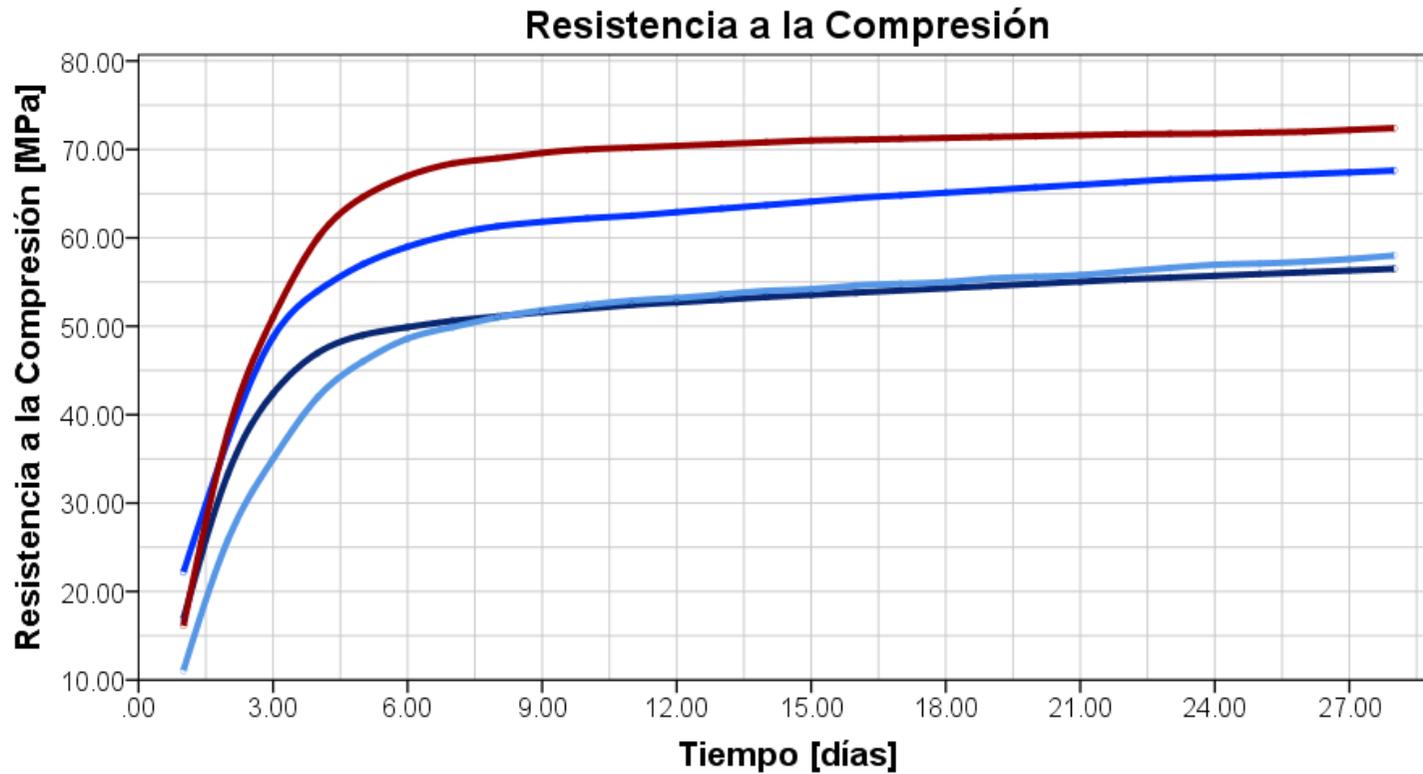
## APÉNDICE E. Resultados de Escenarios

Cemento	A/C	Escenario	Retardante [%]	Plastificante [%]	Fraguado Inicial [h]	Fraguado Final [h]	Retardo [h]	Tiempo de Fraguado [h]	Flujo 10 min [mm] Prom	Flujo 45 min [mm] Prom	Diferencia % de flujo	Observaciones		
450	0.35	1	0.6	0.6	6.3	7.7	0	1.4	240	217	10%			
		2	0.8		9.1	10.7	2.8	1.6	230	217	5%			
		3	1		21.3	23.1	15.0	1.8	213	185	13%			
		4	0.6	0.9	9.6	11.8	0	2.2	223	219	2%			
		5	0.8		14.4	15.8	4.8	1.4	270	240	11%			
		6	1		24	25.8	14.4	1.8	306	249	19%			
		7	0.6	1.2	11.5	13.3	0	1.8	244	269	10%			
		8	0.8		22.1	23.6	10.6	1.5	334	295	12%			
		9	1		29.4	32.3	17.9	2.8	355	320	10%			
	0.45	0.6	10	0.6	0.6	12.3	14.1	0	1.8	358	370	3%	Flujo Aumenta a los 45 min Segregación, agua superficial Descartado	
			11	0.8		37.5	47.4	25.2	9.9					
			12	1										
		0.9	0.6	13	0.6	0.9	9.3	11.1	0	1.8	350	351	0%	Flujo Aumenta a los 45 min  Halo de segregación de 3cm Segregación - Descartado Descartado
				14	0.8		13.6	15.4	4.3	1.9	374	379	1%	
				15	1		37.8	41.7	28.5	3.9	399	405	2%	
			1.2	16	0.6		16.3	18.7	0	2.5	435	448	3%	
				17	0.8									
				18	1									

Cemento	A/C	Escenario	Retardante [%]	Plastificante [%]	Fraguado Inicial [h]	Fraguado Final [h]	Retardo [h]	Tiempo de Fraguado [h]	Flujo 10 min [mm] Prom	Flujo 45 min [mm] Prom	Diferencia % de Flujo	Observaciones
350	0.35	19	0.6	1.2	9.0	11.2	0.0	2.2	186	135	27%	
		20	0.8		12.2	14.2	3.3	2.0	187	116	38%	
		21	1.0		18.6	20.6	9.6	2.0	109	100	8%	
		22	0.6	1.5	9.8	11.8	0.0	2.0	153	119	22%	
		23	0.8		16.7	18.8	6.9	2.1	134	110	18%	Exudación ligera
		24	1.0		21.4	24.8	11.5	3.5	133	120	10%	Exudación ligera
		25	0.6	1.8	11.7	13.9	0.0	2.2	104	100	4%	Exudación
		26	0.8		17.3	19.7	5.7	2.4	118	104	11%	Exudación
		27	1.0		23.6	26.6	12.0	3.0	123	109	11%	Exudación
	0.45	28	0.6	0.6	7.0	9.3	0.0	2.2	164	140	15%	
		29	0.8		9.7	12.6	2.7	2.8	179	161	10%	
		30	1.0		13.1	15.0	6.0	2.0	186	170	9%	
		31	0.6	0.9	7.5	9.1	0.0	1.6	197	181	8%	
		32	0.8		10.5	12.4	3.0	1.9	249	217	13%	
		33	1.0		14.7	16.7	7.2	2.0	225	193	14%	
		34	0.6	1.2	12.9	14.5	0.0	1.6	264	238	10%	
		35	0.8		19.7	21.6	6.8	1.9	268	224	16%	
		36	1.0		28.6	31.2	15.7	2.5	274	227	17%	

Cemento	A/C	Escenario	Retardante [%]	Plastificante [%]	Fraguado Inicial [h]	Fraguado Final [h]	Retardo [h]	Tiempo de Fraguado [h]	Flujo 10 min [mm] Prom	Flujo 45 min [mm] Prom	Diferencia % de Flujo	Observaciones		
250	0.45	37	0.6	1.2	3.4	7.7	0.0	4.3	100	100	0%	No presentan flujo		
		38	0.8		6.6	10.6	3.2	4.0	100	100	0%			
		39	1.0		12.5	14.7	9.1	2.2	100	100	0%			
		40	0.6	1.5	6.2	10.4	0.0	4.2	100	100	0%	No presentan flujo		
		41	0.8		14.0	16.5	7.8	2.5	100	100	0%			
		42	1.0		10.9	13.2	4.7	2.4	100	100	0%			
		43	0.6	1.8	X									No presentan flujo
		44	0.8		X									
		45	1.0		17.2	20.4	17.2	3.1	100	100	0%			
	0.55	1.2	46	0.6	1.2	5.6	8.1	0.0	2.5	100	100	0%	Mucha exudación	
			47	0.8		5.9	8.5	0.4	2.6	100	100	0%		
			48	1.0		11.4	15.3	5.5	3.9	113	100	12%		
		1.5	49	0.6	1.5	8.3	10.5	0.0	2.3	100	100	0%	Mucha exudación	
			50	0.8		8.3	11.1	0.0	2.8	100	100	0%		
			51	1.0		12.8	18.0	4.5	5.3	115	100	13%		

## APÉNDICE F. Resultados de Resistencia



### Características

- Escenario 20: 350 Cemento; 0.6% Retardante; 1.2% Plastificante; A/C=0.35
- Escenario 23: 350 Cemento; 0.8% Retardante; 1.5% Plastificante; A/C=0.35
- Escenario 29: 350 Cemento; 0.8% Retardante; 0.6% Plastificante; A/C=0.45
- Escenario 5: 450 Cemento; 0.8% Retardante; 0.9% Plastificante; A/C=0.35

IDENTIFICACION		FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	ANCHO (mm)	PROFUNDO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)
5	1	7/7/2019	7/8/2019	1	50.24	50.75	50.85	288.49	42.60	16.70
	2				50.34	50.59	51.08	288.18	37.20	14.62
	3				50.62	50.87	50.61	287.67	43.90	17.06
	4		7/10/2019	3	50.99	51.24	51.20	295.53	143.50	54.92
	5				51.01	51.17	51.00	298.08	144.70	55.43
	6				51.03	51.24	50.85	297.88	143.60	54.92
	7		7/14/2019	7	50.89	51.23	50.15	295.30	177.80	68.18
	8				50.83	50.90	50.07	294.14	178.80	69.80
	9				51.01	51.00	49.60	293.95	171.90	66.09
	10		8/4/2019	28	51.61	50.67	50.55	293.34	189.50	72.48
	11				50.93	50.77	50.34	291.41	206.70	79.95
	12				51.19	50.89	50.71	294.05	193.20	73.92
20	1	7/29/2019	7/30/2019	1	51.05	50.52	51.05	281.81	43.90	17.02
	2				50.12	50.98	51.42	284.91	43.00	16.83
	3				51.01	50.69	51.02	281.35	43.80	16.95
	4		8/1/2019	3	51.03	51.18	50.33	287.38	115.90	44.39
	5				50.91	51.39	50.34	288.35	114.80	43.88
	6				51.12	51.33	49.96	286.87	108.30	41.29
	7		8/5/2019	7	51.00	50.81	51.00	289.70	127.50	48.26
	8				51.10	51.01	51.11	291.80	123.30	47.29
	9				51.02	50.51	51.41	290.10	130.10	49.51
	10		8/26/2019	28	51.87	50.04	51.85	296.62	147.50	56.83
	11				51.71	50.41	51.89	295.83	155.50	59.66
	12				51.79	51.00	51.96	297.31	152.20	57.63

IDENTIFICACION		FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	ANCHO (mm)	PROFUNDO (mm)	ALTURA (mm)	PESO (mm)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (Mpa)
23	1	7/17/2019	7/18/2019	1	50.93	50.99	50.97	291.37	55.20	21.25
	2				50.95	50.93	50.86	289.66	56.60	21.87
	3				50.87	50.98	50.89	289.49	54.70	21.08
	4		7/20/2019	3	50.82	50.98	50.90	249.84	125.60	48.88
	5				50.92	50.96	50.90	295.87	126.20	48.62
	6				50.86	50.85	50.81	294.84	126.20	48.78
	7		7/24/2019	7	50.98	50.94	51.18	298.33	152.30	58.64
	8				51.17	50.92	51.04	300.25	154.40	59.26
	9				51.34	50.79	51.00	295.98	159.20	61.04
	10		8/14/2019	28	51.19	50.59	51.18	297.75	195.20	75.38
	11				51.52	50.71	51.39	301.05	202.10	77.37
	12				51.14	50.90	51.10	300.36	200.00	76.84
29	1	7/24/2019	7/25/2019	1	51.06	50.78	51.11	288.03	29.00	11.02
	2				51.09	50.71	51.07	288.13	28.90	11.14
	3				20.98	50.54	51.05	287.50	28.80	11.11
	4		7/27/2019	3	50.84	51.01	51.34	292.95	89.50	34.53
	5				50.92	50.93	51.27	292.68	90.00	34.71
	6				50.95	50.66	51.20	291.39	88.60	34.32
	7		7/31/2019	7	51.16	51.28	51.15	298.67	134.20	51.14
	8				51.12	50.92	51.36	297.34	128.70	49.45
	9				51.32	51.15	51.22	299.32	127.10	48.40
	10		8/21/2019	28	51.08	50.79	51.13	292.98	164.40	63.36
	11				51.03	50.93	50.06	295.42	151.90	58.43
	12				51.11	50.68	51.01	292.47	153.10	59.11

# APÉNDICE G. Análisis de Precio Unitario

**Nombre del Oferente:** Costa A., Alejandro A.  
**Proyecto:** Diseño 1 sin Nomograma

## ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**ID Rubro:** 1 **Unidad** Batch (28 litros)  
**Detalle:** Diseño Hormigón de 350kg/m³ - A/C 0.35 - 2 Aditivos  
**Rendimiento:** 0.33 Unidades/hora **3.030 Horas/unid**

EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
<b>SUBTOTAL EQUIPOS ( EQ. )</b>						
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Laboratorista 2: Experiencia mayor de 7 años (Estruc. Oc. C1)	0.500	4.350	2.175	3.030	6.591	
Laboratorista 2: Experiencia mayor de 7 años (Estruc. Oc. C1)	1.000	4.350	4.350	3.030	13.182	
Pasante	1.000	2.120	2.120	3.030	6.424	
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA ( MO )</b>						<b>26.197</b>
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Cemento	Kg	4.206	0.358	1.505		
Agregado grueso	Kg	8.674	0.339	2.943		
Agregado fino	Kg	10.567	0.403	4.256		
Aditivo Retardante	Kg	0.056	0.725	0.041		
Aditivo Plastificante	Kg	0.053	0.990	0.053		
Agua	Kg	4.410	0.002	0.007		
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
<b>SUBTOTAL MATERIALES (MA.)</b>						<b>8.805</b>
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE (TR.)</b>						
			1 COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA+TR) TOTAL CD:		<b>35.0015</b>	
			2 GASTOS GENERALES(GG) 0.00% x (CD)		-	
			3 UTILIDAD (UT) 0.00% x (CD)		-	
			4 OTROS INDIRECTOS (OI) 0.00% x (CD)		-	
			5 COSTO TOTAL DEL RUBRO		35.0015	
			<b>VALOR OFERTADO</b>		<b>35.00</b>	

**Nombre del Oferente:** Costa A. , Alejandro A.  
**Proyecto:** Diseño 1 con Nomograma

### ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**ID Rubro:** 2 **Unidad** Batch (28 litros)  
**Detalle:** Diseño Hormigón de 350kg/m³ - A/C 0.35 - 2 Aditivos  
**Rendimiento:** 0.425 **Unidades/hora** 2.353 **Horas/unid**

EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
<b>SUBTOTAL EQUIPOS ( EQ. )</b>					<b>-</b>	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Laboratorista 2: Experiencia mayor de 7 años (Estruc. Oc. C1)	0.500	4.350	2.175	2.353	5.118	
Laboratorista 2: Experiencia mayor de 7 años (Estruc. Oc. C1)	1.000	4.350	4.350	2.353	10.235	
Pasante	1.000	2.120	2.120	2.353	4.988	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA ( MO )</b>					<b>20.341</b>	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO		
Cemento	Kg	4.206	0.358	1.505		
Agregado grueso	Kg	8.674	0.339	2.943		
Agregado fino	Kg	10.567	0.403	4.256		
Aditivo Retardante	Kg	0.056	0.725	0.041		
Aditivo Plastificante	Kg	0.053	0.990	0.053		
Agua	Kg	4.410	0.002	0.007		
		-	-	-		
		-	-	-		
		-	-	-		
<b>SUBTOTAL MATERIALES ( MA. )</b>					<b>8.805</b>	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	DMT	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
		-	-	-	-	
<b>SUBTOTAL TRANSPORTE ( TR. )</b>					<b>-</b>	
1 COSTO DIRECTO(CD = EQ+MO+MA+TR)				TOTAL CD:	<b>29.1457</b>	
2 GASTOS GENERALES(GG)				0.00% x (CD)	-	
3 UTILIDAD (UT)				0.00% x (CD)	-	
4 OTROS INDIRECTOS (OI)				0.00% x (CD)	-	
5 COSTO TOTAL DEL RUBRO				GG+UT+OI+CD	29.1457	
<b>VALOR OFERTADO</b>					<b>29.15</b>	