



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA
RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND
MODIFICADO TIPO 1**

Julio Armando Lemus Alvarado

Asesorado por el Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar

Guatemala, febrero de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACCELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA
RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND
MODIFICADO TIPO 1**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JULIO ARMANDO LEMUS ALVARADO

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ALEJANDRO MOLINA ESCOBAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBREO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND MODIFICADO TIPO I

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de julio de 2016.

Julio Armando Lemus Alvarado

Guatemala, 13 de Febrero 2020

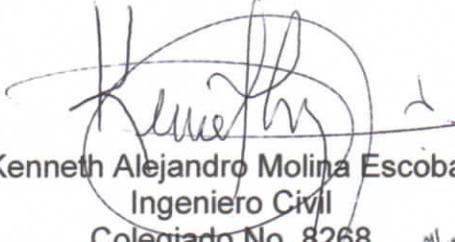
Ingeniero
Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Jefe del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Yon Chavarria

Le saludo cordialmente, el motivo de la presente es para informarle que el trabajo de graduación **"INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND MODIFICADO TIPO I"**, elaborado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Armando Lemus Alvarado con carne numero 2001 13360, ha finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular, me despido

Atentamente


Kenneth Alejandro Molina Escobar
Ingeniero Civil
Colegiado No. 8268

Kenneth Alejandro Molina Escobar
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 8268



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 03 de marzo de 2020

Ingeniero
 Pedro Antonio Aguilar Polanco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Aguilar.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND MODIFICADO TIPO I** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Julio Armando Lemus Alvarado, CUI 1755733791001 y No. De Registro Estudiantil 200113360 quien contó con la asesoría del Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑANZA A TODOS



FACULTAD DE INGENIERÍA
 ÁREA DE MATERIALES Y
 CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Ing. Civil Wuiljan Ricardo Yon Chavarría
 Coordinador del Área de Materiales y
 Construcciones Civiles

/mrrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

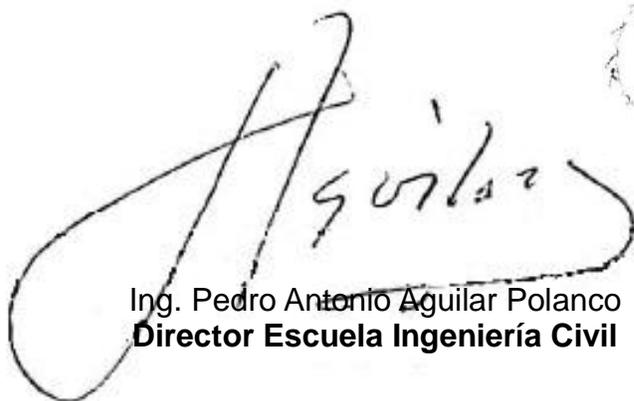
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 15 de julio de 2020
DEIC-TG-EIC-004-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Kenneth Alejandro Molina Escobar y del revisor del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ingeniero Wuillian Ricardo Yon Chavarría al trabajo de graduación del estudiante Julio Armando Lemus Alvarado, **INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND MODIFICADO TIPO 1**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil



Interesado
Asesor
Jefe del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles



Más de 140 años de Trabajo y Mejora Continua

DTG. 043.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **INFLUENCIA DE 2 ADITIVOS ACELERANTES EN EL PROCESO DE FRAGUADO Y LA RESISTENCIA, EN UNA MEZCLA DE CONCRETO UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND MODIFICADO TIPO 1**, presentado por el estudiante universitario: **Julio Armando Lemus Alvarado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por hacerme sentir su amor y darme la fortaleza, sabiduría y templanza a lo largo de mi vida para poder alcanzar mis metas.
- Mis padres** Julio César Lemus Lima, Elida Ernestina Alvarado Herrera de Lemus, por su amor incondicional, apoyo, orientación y verdadero ejemplo de superación.
- Mis hermanos** Odra Gisela, Álvaro Enrique Lemus Alvarado, por todo su amor y compañía en este viaje de la vida.
- Mi esposa** Karla Patricia González Kish, por su amor, comprensión, paciencia y los grandes momentos que hemos vividos juntos.
- Mis tíos y primos** Por su cariño apoyo y comprensión a lo largo de este camino.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios en la que me desarrollé y formé.

Facultad de Ingeniería

Por el privilegio de estudiar y egresar de sus salones, por todas las experiencias adquiridas que colaboraron con mi crecimiento personal y profesional.

**Mis amigos de la
Facultad**

Pablo Cantoral, Elman Portillo, Marvin Tejeda, Bryant Fung, Saulo Jom, Pablo Polanco, Estuardo Huertas, por ser verdaderos amigos y compañeros en este sueño de ser profesionales.

Mi asesor

Ing. Kenneth Alejandro Molina Escobar, por su asesoría y apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Estudios realizados y resultado obtenidos.....	1
2. CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES	5
2.1. Tipos y composición	6
2.2. Normas que rigen	7
2.2.1. Clasificación de los aditivos acelerantes	8
2.3. Efectos que producen los aditivos acelerantes al calor de hidratación del concreto.....	8
2.4. Comparación y diferencias entre aditivos acelerantes	9
3. ADITIVOS ACELERANTE DE LA RESISTENCIA.....	11
3.1. Definición.....	11
3.2. Dosificación	13
3.2.1. Variaciones de dosificación en la mezcla	13
3.3. Aplicación	13

4.	ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUADO.....	15
4.1.	Definición	15
4.2.	Dosificación.....	16
4.2.1.	Variaciones de dosificación en la mezcla	16
4.3.	Aplicación.....	16
5.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	17
5.1.	Metodología	17
5.1.	Equipo y materiales utilizados.....	24
5.1.1.	Cemento tipo 1 Pórtland modificado	25
5.1.2.	Agregado fino.....	25
5.1.2.1.	Granulometría	26
5.1.2.2.	Peso volumétrico.....	26
5.1.2.3.	Peso específico	27
5.1.2.4.	Absorción (%).....	27
5.1.3.	Agregado grueso.....	29
5.1.4.	Aditivos.....	32
5.2.	Ensayos y resultados obtenidos con aditivo acelerante de la resistencia	33
5.3.	Ensayos y resultados obtenidos con aditivo acelerante del fraguado.....	45
5.4.	Análisis.....	51
	CONCLUSIONES.....	53
	RECOMENDACIONES	55
	BIBLIOGRAFÍA.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Combinación de agregados para concreto.....	21
2.	Análisis físico del agregado fino	28
3.	Análisis físico del agregado grueso curva No. 5.....	30
4.	Análisis físico del agregado grueso curva No. 8.....	31
5.	Resistencia a la penetración mezcla patrón	37
6.	Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia.....	39
7.	Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia.....	40
8.	Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia.....	42
9.	Resistencia a la penetración de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de la resistencia	43
10.	Resistencia a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante a la resistencia	44
11.	Resistencia a la penetración de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante del fraguado	49
12.	Resistencias a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de fraguado.....	50

TABLAS

I.	Requerimientos para diferenciar un aditivo acelerante en tipo C o aditivos acelerante tipo E.....	10
II.	Dosificación del aditivo acelerante de la resistencia por saco de cemento	13
III.	Dosificación del aditivo acelerante de fraguado por saco de cemento	16
IV.	Límites de granulometría del agregado fino.....	18
V.	Granulometría de agregados	19
VI.	Especificaciones mezcla de concreto	22
VII.	Datos de materias prima.....	22
VIII.	Diseño de mezcla teórica.....	23
IX.	Bache práctico mezcla patrón (0,035)	23
X.	Análisis físico del agregado fino	27
XI.	Características físicas del agregado fino	28
XII.	Análisis físico del agregado grueso curva No. 5.....	29
XIII.	Características físicas del agregado grueso curva No. 5.....	30
XIV.	Análisis físico del agregado grueso curva No. 8.....	31
XV.	Características físicas del agregado grueso curva No. 8.....	32
XVI.	Clasificación de aditivos químicos, según COGUANOR NTG 41070	33
XVII.	Datos de concreto fresco bache práctico mezcla patrón	34
XVIII.	Bache practico dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia.....	35
XIX.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	35
XX.	Bache práctico dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia.....	35

XXI.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	36
XXII.	Bache práctico dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	36
XXIII.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	36
XXIV.	Tiempo de fraguado en mezcla patrón.....	37
XXV.	Tiempos de fraguado de mezcla patrón con aditivo acelerante de la resistencia	38
XXVI.	Tiempo de fraguado en mezcla de concreto con dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	38
XXVII.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	39
XXVIII.	Tiempo de fraguado en mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	40
XXIX.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	41
XXX.	Tiempo de fraguado en mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	41
XXXI.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia	42
XXXII.	Resistencia a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de la resistencia (psi)	43
XXXIII.	Bache práctico dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado.....	45
XXXIV.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado	46
XXXV.	Bache práctico dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado.....	46

XXXVI.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado	46
XXXVII.	Bache práctico dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado.....	47
XXXVIII.	Datos de concreto fresco bache práctico dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado.....	47
XXXIX.	Tiempos de fraguado de mezcla patrón con aditivo acelerante de la resistencia.....	48
XL.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado.....	48
XLI.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado.....	48
XLII.	Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado.....	49
XLIII.	Resistencias a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de fraguado (psi)	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cms	Centímetro
°C	Grado centígrado
kg	Kilogramo
lb	Libra
m³	Metro cubico
ml	Mililitro
ml / kg	Mililitro por kilogramo
mm	Milímetro
No.	Número
%	Porcentaje
PSI	<i>Pounds Per Square Inch</i> (libra por pulgada cuadrada)
Plg	Pulgada
“	Pulgada

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto).
Aditivo acelerante	Sustancia que se añade a una mezcla de concreto, que modifica sus propiedades físicas como el fraguado o resistencia.
Aditivo	Sustancia que se añade a otra para aumentar o mejorar cualidades.
Agregados	Mezcla de arena y pedrín de granulometría variable.
Asentamiento	Es una medida de la consistencia de concreto, se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica que tan seco o fluido está el concreto.
ASTM	American Society or Testing and Materials (Asociación Americana para Pruebas y Materiales).
Cemento	Material de construcción compuesto de una sustancia en polvo que, mezclada con agua, forma una pasta blanda que se endurece en contacto con el aire.

Clinker	Producto con forma de gránulos o pequeñas bolas de entre 5 y 25 mm aproximadamente, que se forma a partir de la calcinación de caliza y arcilla.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Concreto	Mezcla de cemento, arena, pedrín y agua que cuando se seca y fragua, se endurece y fragua.
Contenido de aire	Aire atrapado dentro de una mezcla de concreto.
Fraguado	Es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad en una mezcla de concreto.
Resistencia a la compresión	Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.
Resistencia a la penetración	Determinación de la resistencia del concreto endurecido a la penetración por una probeta de acero o pin.

RESUMEN

A una mezcla de concreto elaborada con cemento Pórtland modificado tipo 1 se le aplicaron dos tipos de aditivos acelerantes: acelerante de la resistencia y acelerante de fraguado. Se fabricaron 12 cilindros por cada mezcla y dosificación utilizada por cada tipo de aditivo (baja, media y alta), que se ensayaron a 1, 2, 3, 7, 14 y 28 días de edad. Al mismo tiempo, se obtuvieron las propiedades físicas de la mezcla de concreto: asentamiento, contenido de aire, tiempos de fraguados, entre otros. Con los resultados obtenidos, se calcularon curvas de resistencia a la compresión versus edad, y curvas de resistencia a la penetración versus tiempo para determinar las curvas de crecimiento de la resistencia y los tiempos de fraguados.

Para el aditivo acelerante de la resistencia se concluye que el uso del aditivo no tiene ningún efecto en la inclusión de aire a las mezclas de concreto, la dosis media y alta aumentan en un más de 30 % el asentamiento inicial, las dosis no generan un efecto sensible en los tiempos de fraguado (inicial y final), el efecto del producto en el aumento de las resistencias es significativamente alto a las edades de 1 y 2 días a las edades 3, 7 y 28 días el aumento de la resistencia se mantiene en menores proporciones.

Con el aditivo acelerante de fraguado la dosis baja no cumple con los tiempos de fraguados que la norma indica para ser considerado como tal, la dosis alta aumenta en más de 30 % el asentamiento inicial, el comportamiento del aumento de las resistencias a 1, 2 y 3 días es el mismo para las tres dosificaciones; a 7 días las dosificaciones media y alta aún mantienen un incremento significativo.

OBJETIVOS

General

Evaluar dos tipos de aditivos acelerantes en una mezcla de concreto.

Específicos

1. Generar información teórica general acerca de las características de los aditivos acelerantes, su dosificación y manejo de estos.
2. Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con y sin aditivo (acelerante) de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41070, a los 1, 2, 3, 7, 14 y 28 días.
3. Ofrecer al estudiante y profesional de la ingeniería civil un documento que sirva de referencia sobre el tema.
4. Evaluar las posibles deficiencias en el diseño de la dosificación y aplicación del aditivo en la mezcla de concreto.
5. Evaluar los efectos que producen los aditivos acelerantes al calor de hidratación en el concreto.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala en obras de ingeniería civil, el concreto es el material más utilizado, y, a diferencia de los materiales para la elaboración de una mezcla de concreto, los aditivos no son componentes esenciales, pero son importantes, por la necesidad de modificar las características del concreto, de tal forma que estas se adapten a las condiciones de la obra y a las exigencias del constructor.

Por esta razón, es necesario conocer aspectos teóricos relacionados con la implementación de aditivos acelerantes en la mezcla de concreto en su proceso de fraguado y aumento de su resistencia. Una de las características más relevantes en la medición de la calidad del concreto es su resistencia a la compresión. Es importante estudiar la influencia que ejercen los aditivos acelerantes en la resistencia del concreto.

Se propone elaborar el marco teórico basado en una intensa búsqueda bibliográfica por varios medios y entrevistas con los diferentes actores involucrados en el tema de interés, utilizando herramientas y técnicas de investigación como observación personal, entrevistas, ensayos de laboratorio, entre otros.

Para determinar la influencia que ejercen los aditivos acelerantes en la resistencia del concreto se realizarán los ensayos de laboratorio necesarios que permitan verificar el progreso de la resistencia del concreto en los diferentes días en el proceso de fraguado hasta llegar su resistencia máxima.

Es necesario contar con un documento para conocer cómo varía la resistencia del concreto aplicando aditivos acelerantes para su elaboración; que pueda ser usado como referencia por estudiantes y profesionales interesados.

1. ANTECEDENTES

1.1. Generalidades

La utilización de aditivos para concreto tiene sus antecedentes más remotos en la época romana, adicionándole al concreto cal y puzolanas.

Según la historia, la primera persona que descubrió las cales hidráulicas fue Jhon Smeaton, un hombre inglés preocupado por las mejoras de los materiales de construcción. Pero fue su compatriota, Joseph Aspdin de Leeds (1778-1855) quién patentó, en el año 1824, un nuevo y novedoso producto llamado “Cemento Portland”, nombre por el cual quiso dar a entender de que este cemento, una vez endurecido, tenía la misma resistencia y color que la piedra Portland.

A medida que el cemento adquiere mayor importancia a través del tiempo como material de gran utilización en las construcciones de la época, se ha mejorado para optimizar, tanto su docilidad, como su desempeño en obra. Es así como estas mejoras se ven muy reflejadas tanto para los concretos como para los morteros frescos o endurecidos.

1.2. Estudios realizados y resultado obtenidos

Con el fin de obtener fraguado más regular del cemento, se utilizó yeso crudo o el cloruro de calcio. La incorporación de estos productos se remonta a los años 1875 – 1890. El resultado fue un cambio significativo en este tipo de cemento, ya que el fraguado es más regular y uniforme. Los albañiles

franceses, en esa época añadían, esos materiales justo en el momento de amasar el concreto.

De esta manera, la primera incorporación de cloruro de calcio como aditivo a los concretos quedó registrada en el año 1873, y el uso del aditivo, desde ese momento, se masificó. La patente legal del producto se otorgó en el año 1885.

De acuerdo con investigaciones realizadas en 1888, según la dosis de cloruro de calcio que se agregara a la mezcla de concreto, se podría utilizar como retardador o acelerador de fraguado.

A partir de esta fecha, el aditivo se utilizó en las distintas etapas y necesidades de la construcción. También varían los tipos de aditivos por utilizar. Por eso, los aditivos hidrófugos o repulsores de agua fueron los primeros que se utilizaron, al mismo tiempo que los aceleradores de fraguado.

A principios del año 1900, se comenzó a considerar la incorporación de otros tipos diferentes de aditivos. Entre ellos está el silicato de sodio, en conjunto con diversos jabones que, por sus características, se utilizó para impermeabilizar los diversos tipos de concretos.

Se utilizaron diferentes tipos de polvos químicos, cuya función era colorear el concreto en diferentes tonos, como alternativa para mejorar los acabados en su aspecto estético.

A medida que se avanza en la historia se observa que aumentan la cantidad de aditivos que se incorporan al concreto. Aproximadamente, en el año 1905 se utilizan los fluatos o fluosilicatos como endurecedores de superficies de las diferentes estructuras que se construían en la época.

Para incrementar la calidad de los sistemas constructivos y de los concretos en general en la época, estudiaron las características especiales del azúcar al incorporarla a la mezcla de concreto, esto provocaba un retardo en el fraguado.

Los productos impermeabilizantes fueron comercializados para mejorar algunas propiedades del hormigón, aproximadamente en el año 1910.

La comercialización de los productos retardantes data, aproximadamente, del año 1929. El zinc es un poderoso retardante del fraguado al adicionarlo a la mezcla de concreto.

Los productos anticongelantes fueron comercializados en el año 1955, gracias a la evolución de la industria química, de esta forma se incorporaron materias plásticas a la mezcla de concreto.

En conclusión, los aditivos se definen como sustancias químicas o minerales que se agregan a la mezcla de concreto, mortero o pasta de cemento para modificar varias de sus propiedades.

En el país, la norma COGUANOR NTG 41006 define como aditivo al material diferente del agua, los agregados, material cementante hidráulico, y del refuerzo de fibras, que puede ser usado como un ingrediente de una mezcla cementicia para modificar sus propiedades en estado fresco tal como su fraguado o sus propiedades en estado endurecido y que puede ser agregado a la mezcla de concreto, inmediatamente antes o durante su mezclado.

2. CLASIFICACIÓN DE ADITIVOS ACELERANTES

La tasa de hidratación de un cemento se produce por las reacciones entre el clinker y el agua, la cual puede ser modificada adicionando pequeñas cantidades de sustancias químicas en la mezcla. Estas sustancias químicas alteran la tasa de hidratación incrementando el número de hidratos en la mezcla dando un efecto general de aceleramiento del proceso. Estas sustancias químicas son conocidas como acelerantes. De esta forma un acelerante es adicionado al concreto, mortero o pasta de cemento con los siguientes propósitos:¹

- Disminuir los tiempos del fraguado
- Incrementar las resistencias tempranas

En el primer caso la acción de los acelerantes se concentra en estado fresco mientras que en el segundo en estado endurecido. Existen acelerantes especializados para cada caso.

Casi todos los acelerantes convencionales para concreto vienen en forma líquida, debido a que su dosificación y manipulación es más sencilla.

¹ Sika. *Concreto aditivos para concreto*. p. 14.

2.1. Tipos y composición

Los aditivos acelerantes se pueden, igualmente, dividir en dos grandes grupos, el primero corresponde a sustancias en las que está incluido un ion cloro y el segundo que no incluye este compuesto.

Los aditivos con cloruro o cloro ofrecen mejores resultados para el endurecimiento del concreto, los aditivos que no incluyen cloruro (aluminatos y soluciones cáusticas) ofrecen mejores resultados para la aceleración del fraguado.

En conclusión, dependiendo de las necesidades que se tengan en obra es posible utilizar los aditivos con base de cloruros para endurecimiento o acelerante de la resistencia del concreto y los aditivos sin cloruros para aceleración del fraguado del concreto.

Los aditivos acelerantes varían según su composición química.

Las bases químicas de los acelerantes son muy variadas, se trata, en general, de sales orgánicas o inorgánicas y entre los principales compuestos se encuentran:²

- Hidróxidos
- Cloruros, Bromuros, Fluoruros
- Nitritos y Nitratos
- Carbonatos
- Tiocianatos

² Sika. *Concreto aditivos para concreto*. p. 16.

- Sulfatos
- Tiosulfatos
- Percloratos
- Silicatos
- Aluminatos
- Ácidos carboxílicos
- Alcanolaminas

El desempeño que brinda un aditivo acelerante puede cambiar radicalmente del tipo de cemento a utilizar.

2.2. Normas que rigen

Los aditivos acelerantes tienen múltiples clasificaciones, según los puntos que se enfatizan, siguen, diferentes normas y especificaciones. En el medio guatemalteco, las normas más utilizadas son, las norteamericanas ASTM, que rigen a los acelerantes con la norma ASTM C 494 “Especificación normalizada de aditivos químicos para concreto”; en Europa la norma es EN 493-2 “Aditivos para concreto, mortero y lechadas – Parte 2: Aditivos para concreto – definiciones, requerimientos, conformidad, fabricación y marcado”³.

En Guatemala, la norma que rige los aditivos acelerantes es COGUANOR NTG 41070 “Aditivos químicos para concreto. Especificaciones”. Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C494-05, la cual fue revisada con el conocimiento y experiencia de los integrantes del CTN de Concreto.

³ Sika. *Concreto aditivos para concreto*. p. 14.

Las normas ASTM C 494 y COGUANOR NTG 41070 clasifican a los aditivos acelerantes así:

- Tipo C Acelerante para concreto
- Tipo E Reductor de agua y acelerante para concreto

La norma EN 493-2 clasifica a los aditivos acelerantes como:

- Aditivo acelerante de fraguado
- Aditivo acelerante de endurecimiento

2.2.1. Clasificación de los aditivos acelerantes

Los acelerantes tipo C de acuerdo con norma la norma NTG 41070, son generalmente, aditivos químicos líquidos, que aceleran el fraguado y confieren resistencias iniciales y finales más altas. La dosificación más común o frecuente de estos aditivos es entre 1,5 y 5 % de la masa del cemento en la mezcla.

Los acelerantes tipo E son una variedad de aditivos que cumplen una doble función; plastifican la mezcla aumentando su manejabilidad, permitiendo una colocación y compactación más fácil y aceleran la obtención de resistencia a temprana edad y edades tardías.

2.3. Efectos que producen los aditivos acelerantes al calor de hidratación del concreto

Como se mencionó, la velocidad de reacción entre las partículas de cemento y el agua es conocida como la tasa de hidratación de un cemento.

Este fenómeno se puede modificar adicionando unas pequeñas cantidades de químicos a la mezcla para que se incrementen los hidratos que crecen para una edad determinada, teniendo como resultado un aceleramiento del proceso.

A estos componentes químicos se les denomina acelerantes y tienen dos propósitos fundamentales en el concreto, mortero o pasta de cemento, los cuales pueden ser cumplidos los dos a la vez o alguno de ellos dependiendo el caso:

- Incrementar las resistencias tempranas
- Disminuir los tiempos de fraguado

El acelerante de la resistencia de una mezcla de concreto puede incrementar la contracción.

El acelerante de fraguado de una mezcla de concreto podría incrementar la contracción en elementos de secciones muy anchas, el calor por la rápida hidratación puede generar altas temperaturas y por lo tanto fuertes contracciones térmicas.

2.4. Comparación y diferencias entre aditivos acelerantes

Los requerimientos para que un aditivo acelerante pueda ser llamado tipo C o tipo E, de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41070 son los siguientes:

Tabla I. **Requerimientos para diferenciar un aditivo acelerante en tipo C o aditivos acelerante tipo E**

Descripción	Tipo C	Tipo E
Contenido de agua, % con respecto al testigo	-----	95 %
Tiempos de fraguado, diferencia permisible con respecto al testigo h:min	Inicial: entre 3:30 y 1:00 antes Final: 1:00 antes	Inicial: entre 3:30 y 1:00 antes Final: 1:00 antes
Resistencia a la compresión (% mínimo con respecto testigo)		
1 día	----	----
3 días	125	125
7 días	100	110
28 días	100	110
6 meses	90	100
1 año	90	100
Resistencia a la flexión (% mínimo con respecto testigo)		
3 días	110	110
7 días	100	100
28 días	90	100

Fuente: elaboración propia, con información COGUANOR NTG 41070.

Los requerimientos anteriores muestran que, de un acelerante tipo C o tipo E, se espera un efecto tanto sobre los fraguados como sobre las resistencias.

3. ADITIVOS ACELERANTE DE LA RESISTENCIA

3.1. Definición

Según su hoja técnica, el aditivo acelerante de la resistencia del concreto es un aditivo líquido que produce altas resistencias iniciales en el concreto sin perjuicio de la resistencia final, es un aditivo que no contiene cloruros y cumple con la norma ASTM C 494 Tipo C.

Este aditivo se utiliza principalmente en la elaboración de concretos cuando se requiere:

- En la producción de concretos de muy alta resistencia inicial (8 – 72 horas) a la comprensión, tensión o flexión.
- En plantas de prefabricación, cuando se desee reducir los tiempos de desencofrado y aumentar la producción.
- En concreto pretensado para acelerar el momento de corte del refuerzo y transmisión de esfuerzos.
- Cuando se coloque concreto a bajas temperaturas, para garantizar su endurecimiento normal.
- Para la elaboración de concretos Outinord (túnel) y Contech, garantizando la consecución de la resistencia inicial necesaria para desencofrar.
- Para la colocación de concreto en climas templados y fríos.

Las ventajas que se obtienen al utilizar este aditivo en concreto fresco.

- Acelera moderadamente los tiempos de fraguado inicial y final, no altera el tiempo de manejabilidad del concreto, permitiendo la dosificación del aditivo en la planta.
- Reduce los tiempos de espera en el proceso de prefabricación con curado al vapor.
- Gran desempeño del aditivo en un alto rango de temperaturas (5 °C a 35 °C)
- Puede ser usado en concreto pretensado y postensado sin riesgo de corrosión del acero de refuerzo.
- Puede ser usado para la elaboración de concretos en ambientes agresivos.
- Es compatible con aditivos plastificantes y superplastificantes.

Las ventajas que se obtienen al utilizar este aditivo en concreto endurecido.

- Permite el rápido desencofrado y el movimiento de los elementos prefabricados.
- Disminuye los tiempos muertos y aumenta la rentabilidad en la prefabricación.
- De acuerdo con la dosis usada, incrementa entre un 20 a 40 % la resistencia del concreto (8 a 72 h).
- Incrementa entre un 10 a 20 % la resistencia final del concreto.
- Permite la rápida puesta en uso de estructuras.

3.2. Dosificación

La dosificación que se toma como referencia para este aditivo acelerante de la resistencia es de 0,5 % a 2,0 % del peso del cemento (de 4,0 a 17,0 ml/kg de cemento), dependiendo del grado de aceleramiento deseado.

3.2.1. Variaciones de dosificación en la mezcla

El rango de dosificación que se recomienda para un aditivo acelerante de la resistencia, generalmente en el medio de la construcción de Guatemala es:

Tabla II. **Dosificación del aditivo acelerante de la resistencia por saco de cemento**

Dosis
170 ml por saco de cemento
445 ml por saco de cemento
725 ml por saco de cemento

Fuente: elaboración propia.

3.3. Aplicación

El aditivo acelerante de la resistencia se agrega a la mezcla disuelto en la última parte del agua de mezcla o paralelamente al agua durante la elaboración del concreto, preferiblemente cuando los agregados hayan sido saturados.

También se puede adicionar el aditivo acelerante de la resistencia en el sitio de la obra, en el camión que transporta el concreto ya elaborado. En este caso se debe remezclar por lo menos un (1) minuto por cada metro cúbico de concreto.

4. ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUADO

4.1. Definición

El aditivo acelerante de fraguado para concreto según hoja técnica, es un aditivo líquido que contiene cloruros.

Este aditivo se utiliza principalmente en la elaboración de concretos cuando se requiere:

- Obtener concreto con altas resistencias a edad temprana.
- Reducir el tiempo de desencofrado y facilitar el rápido avance de las obras.
- Colocar concreto en clima frío o efectuar reparaciones rápidas en todo tipo de estructuras, sin acero de refuerzo o con poca cantidad de este.

Las ventajas que se obtienen al utilizar este aditivo

- Reduce el tiempo de desencofrado.
- Confiere resistencias más altas a temprana edad.
- Permite una rápida puesta en uso de las estructuras nuevas.
- Permite una rápida puesta en uso de estructuras reparadas.
- Contrarresta el efecto del frío sobre las resistencias.
- Aumenta los rendimientos en la elaboración de los prefabricados.

El aditivo acelerante de fraguado es un aditivo líquido de color café claro, que está hecho con base de cloruros teniendo una densidad de 1,32 kg/l aproximadamente.

4.2. Dosificación

La dosificación que se toma para este aditivo acelerante de fraguado es de 1,0 % a 3,0 % del peso del cemento (7,5 a 23,0 ml/kg de cemento), dependiendo del grado de aceleramiento deseado.

4.2.1. Variaciones de dosificación en la mezcla

El rango de dosificación que se recomienda para un aditivo acelerante de fraguado, generalmente en el medio de la construcción de Guatemala es:

Tabla III. **Dosificación del aditivo acelerante de fraguado por saco de cemento**

Dosis
500 ml por saco de cemento
750 ml por saco de cemento
1 000 ml por saco de cemento

Fuente: elaboración propia.

4.3. Aplicación

El aditivo acelerante de fraguado se agrega junto con el agua de la mezcla durante la preparación del concreto. El aditivo acelerante de fraguado no se debe usar para concreto pretensado o con elementos de aluminio embebidos, contiene cloruros.

5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. Metodología

El estudio describe los resultados obtenidos de evaluaciones hechas en laboratorio al aditivo acelerante de la resistencia y al aditivo acelerante de fraguado, en una mezcla de concreto elaborada con cemento Pórtland tipo 1 de acuerdo con Norma Técnica Guatemalteca 41095 de COGUANOR.

El diseño de mezcla de concreto se determinó con los resultados obtenidos del ensayo de tamices obteniendo el porcentaje de agregado fino y agregado grueso para la mezcla de concreto.

Los agregados finos, comúnmente, consisten en arena natural o piedra triturada; la mayoría de sus partículas son menores que 5 mm. Los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41007, permite un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino que, generalmente, es satisfactoria para la mayoría de los concreto.

Los agregados gruesos adecuados para elaborar concreto consisten en gravas o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores de 5 mm y, generalmente, entre 9,5 mm y 38 mm. Estos agregados deben cumplir con los requerimientos de la norma COGUANOR NTG 41007.

Tabla IV. **Límites de granulometría del agregado fino**

Tamiz (Esp. Astm E11)	Porcentaje que pasa arena natural	Arena manufacturada
9,5 mm (3/8")	100	100
4,75 mm (No.4)	95 a 100	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100	80 a 95
1,18 mm (No. 16)	50 a 85	45 a 95
600 µm (No. 30)	25 a 60	25 a 75
300 µm (No. 50)	5 a 30	10 a 35
150 µm (No. 100)	0 a 10	8 a 20

Fuente: elaboración propia, con información COGUANOR NTG-41007.

Tabla V. Granulometría de agregados

Tamiz	TMN	25,4	1	Piedrín de 1" + piedrín de 3/8" + arena caliza la roca			AF1	AF2	AG1	AG2	Combinación pedrín	Combinación arena	Combinación pedrín-arena
				Fuller	Fuller Bolomey	m.m.							
1 1/2"	100	100	100	122	122	38,1	100	100	100	100	100	100	100
1"	85	77	99	99	99	25	100	100	95,85	100	97,93	100	99
3/4"	78	65	74	86	87	19	100	100	9,06	100	54,53	100	74
1/2"	62	52	71	69	70	12	100	100	1,2	99,8	50,5	100	71
3/8"	55	45	69	61	63	9,53	100	100	1,15	91,4	46,28	100	69
#4	45	30	48	43	46	4,75	100	100	0	19,15	9,58	100	48
#8	33	20	36	30	33	2,36	81,3	100	0	5,55	2,78	81,3	36
#16	25	12	26	22	25	1,18	57,9	100	0	4,85	2,43	57,9	26
#30	19	8	20	15	19	0,6	44,45	100	0	2,9	1,45	44,45	20
#50	15	5	15	11	14	0,3	35,85	100	0	0	0	35,85	15
#100	10	3	11	8	11	0,15	27,1	100	0	0	0	27,1	11

Fuente: elaboración propia.

El criterio para el diseño de mezcla fue la de cumplir con las curvas del método Füller o Füller - Bolomey.

El método de Füller es un método general, su aplicación está dirigida, principalmente, a diseños de hormigones en los cuales el tamaño máximo de los agregados se encuentra comprendido entre 50 ± 20 mm y la cantidad de cemento por metro cúbico generalmente es de 300 kg/m^3 .

La estimación del contenido de agregado grueso y agregado finos se calcula de la siguiente manera:

$$P_d = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Donde:

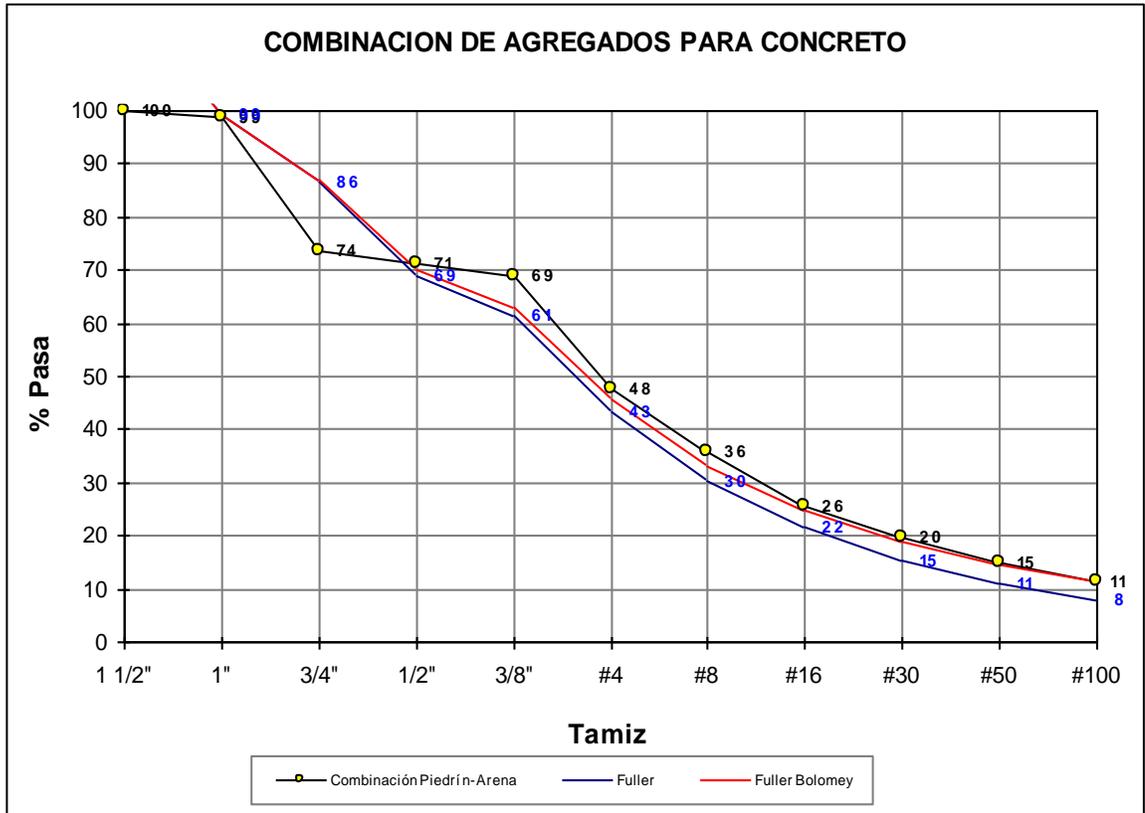
P_d = Porcentaje que pasa por malla d

d = Abertura de la malla de referencia

D = Tamaño máximo del agregado grueso

La relación arena/agregado, el volumen absoluto, se determina gráficamente. Se dibujan las curvas granulométricas de los 2 agregados, en el mismo papel se dibuja la parabólica de Füller, por la malla numero 4 trazamos una vertical la cual determinará en las curvas trazadas 3 puntos.

Figura 1. **Combinación de agregados para concreto**



Fuente: elaboración propia.

Las especificaciones para el diseño y ajuste de mezcla de concreto son las siguientes:

Tabla VI. **Especificaciones mezcla de concreto**

Descripción	Cantidad	Unidad
f'c	280	Kg / cm ²
w / (c + p)	0,75	
TMA	25,40	Mm
% de aire	1,50	%
Max cemento	6,75	Sacos / m ³

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos de materias prima**

Datos materias primas		δ	abs	hum	AG/AF	Proporción
Cemento		2,84				
Cementante		1,00				
Agua		1,00				
AG1	No. 5 triturado	2,78	0,90	0,10	60 % gruesos	52 %
AG2	No. 8 triturado	2,73	1,00	0,46		48 %
AF1	Arena triturada	2,74	1,20	1,27	40 % finos	100 %
AF2		1,00	0,00			0 %

Fuente: elaboración propia.

El diseño de mezcla teórica por utilizar se muestra en tabla VIII para un $f'c = 3\ 000\ \text{PSI}$.

Tabla VIII. **Diseño de mezcla teórica**

Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	330	Kg
Agregado fino	716	Litros
Agregado grueso No. 5	418	kg
Agregado grueso No. 8	716	kg
Agua	218	kg

Fuente: elaboración propia.

Con el diseño de mezcla teórica calculado, obtuvimos el bache práctico, para el testigo, dosis baja de aditivo, dosis media de aditivo y dosis alta de aditivo.

Tabla IX. **Bache práctico mezcla patrón (0,035)**

Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	11,55	kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	0	ml

Fuente: elaboración propia.

5.1. Equipo y materiales utilizados

En las pruebas experimentales al aditivo acelerante a la resistencia y al aditivo acelerante de fraguado se utilizaron los siguientes equipos:

Moldes para cilindros de ensayo para formar las muestras o especímenes de 100 x 200 mm (4" x 8") o de 150 x 300 (6" x 12").

Varilla apisonadora con punta semi esférica de 15 mm ($\frac{5}{8}$ ") de diámetro para cilindros de $\frac{3}{8}$ " o de (6" x 12") de diámetro para cilindros de 4" x 8", o un vibrador.

Mazo de hule de $06 \pm 0,2$ kg ($1,25 \pm 0,50$ lb).

Molde metálico, con forma de cono truncado, abierto en ambos extremos, con un diámetro superior de 10 cm e inferior de 20 cm, conocido como cono de Abrams.

Pala, plancha de madera, espátula, cuchara, carreta u otro contenedor apropiado, tanque de agua con suficiente provisión para mantener el ambiente de curado necesario durante el periodo inicial.

5.1.1. Cemento tipo 1 Pórtland modificado

El cemento puede ser definido como polvo fino aglutinante con propiedades aglomerantes que endurece al contacto con el agua. Con la adición de agua se convierte en una pasta homogénea capaz de endurecer y conservar su estructura.

El cemento Pórtland se puede identificar por varias categorías, cada una con sus características físicas y químicas específicas.

En este estudio se utilizó el cemento tipo 1 Pórtland modificado, este cemento es el cemento tipo UG cemento hidráulico para uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. Este cemento se utiliza en edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales, entre otros.

El cemento tipo Pórtland 1 o cemento clasificado como UG o de uso general lo rige la norma NTG 41095 de COGUANOR.

5.1.2. Agregado fino

Se emplea en el concreto para mejorar las propiedades de la mezcla plástica, facilitar el acabado, promover la uniformidad e impedir la segregación. Esto se logra, en gran parte, por la composición granulométrica, el tamaño la forma y la textura de la superficie de las partículas.

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los requisitos de la norma COGUANOR NTG 41007, permite un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, que generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concreto.

5.1.2.1. Granulometría

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas.

5.1.2.2. Peso volumétrico

Es la relación entre el peso de un material y volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 . Hay dos valores para esta relación dependiendo del sistema de acomodo que se haya dado al material inmediatamente después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno es peso volumétrico suelto y peso volumétrico compactado.

Peso volumétrico suelto se usa para convención de peso a volumen, es decir, para conocer el consumo de agregado por m^3 de concreto.

Peso volumétrico compactado es para el conocimiento del volumen de materiales aplicados y están sujetos a acomodamientos o asentamientos provocados por la acción del tiempo.

5.1.2.3. **Peso específico**

El peso específico o densidad relativa de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión).

5.1.2.4. **Absorción (%)**

La absorción y la humedad superficial se deben determinar de acuerdo con la norma COGUANOR NTG 41010h24.

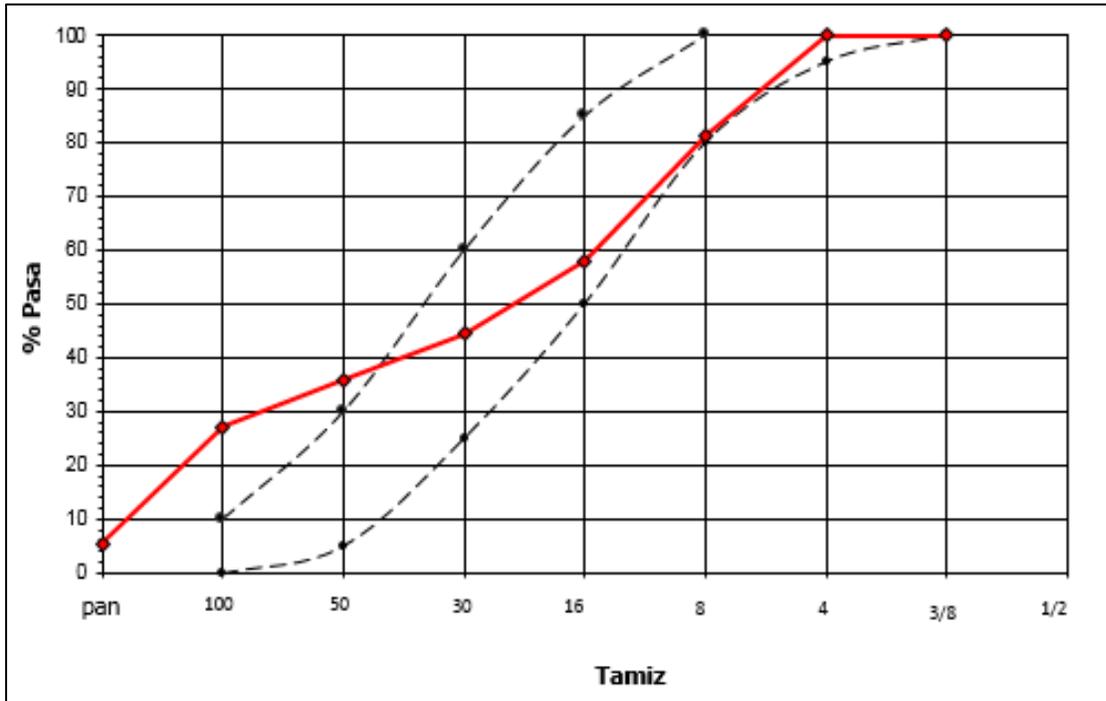
Los datos obtenidos en laboratorio del agregado fino utilizado para este estudio es el siguiente:

Tabla X. **Análisis físico del agregado fino**

Tamiz No.	3/8	4	8	16	30	50	100	Pan
% pasa	100,00	100,00	81,30	57,90	44,45	35,85	27,10	5,35
% retenido acumulado	0,00	0,00	18,70	42,10	55,55	64,15	72,90	94,65

Fuente: elaboración propia.

Figura 2. **Análisis físico del agregado fino**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Características físicas del agregado fino**

Descripción	Cantidad
Peso específico	2,74
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 347
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1 482
Porcentaje de absorción	0,90
Porcentaje pasa tamiz 200	5,35
Módulo de finura	2,53

Fuente: elaboración propia.

5.1.3. Agregado grueso

Los agregados gruesos adecuados para elaborar concreto consisten en gravas o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores de 5 mm y, generalmente, entre 9,5 mm y 38 mm. Estos agregados deben cumplir con los requerimientos de la norma COGUANOR NTG 41007.

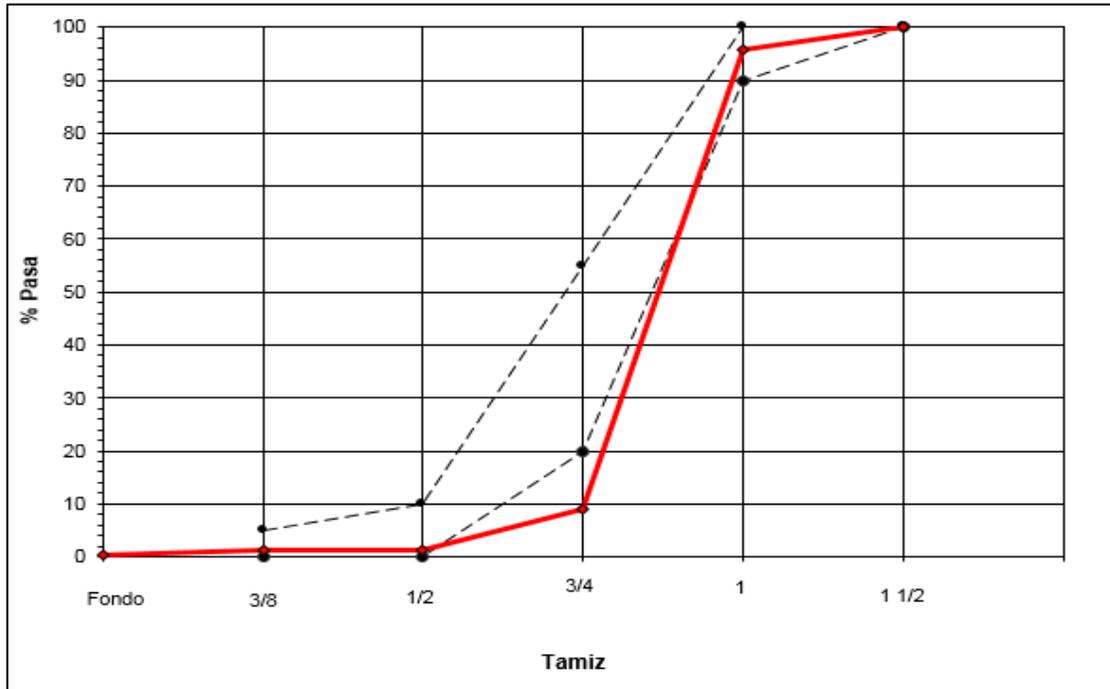
Los datos obtenidos en el laboratorio del agregado grueso para este estudio es el siguiente:

Tabla XII. **Análisis físico del agregado grueso curva No. 5**

Tamiz No.	1 1/2	1	¾	1/2	3/8	fondo
% pasa	100,00	95,85	9,06	1,20	1,15	0,50
% retenido acumulado	0,00	4,15	90,94	98,80	98,85	99,50

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Análisis físico del agregado grueso curva No. 5**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Características físicas del agregado grueso curva No. 5**

Descripción	Cantidad
Peso específico	2,78
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 432
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1 576
Porcentaje de absorción	0,90
Porcentaje pasa tamiz 200	0,50
Módulo de finura	7,90

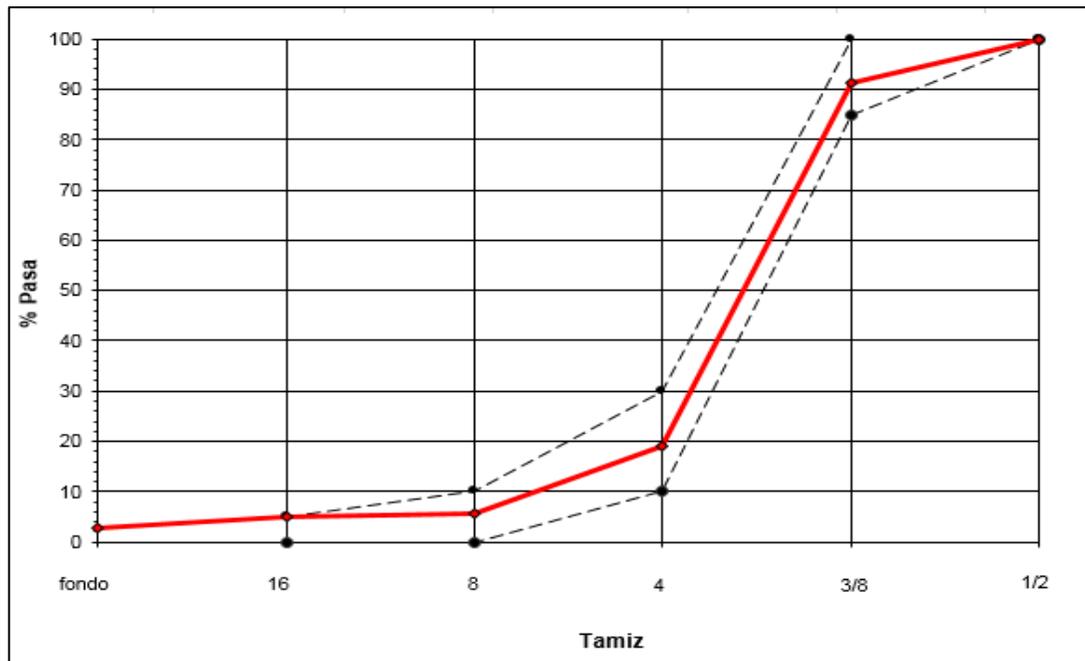
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Análisis físico del agregado grueso curva No. 8**

Tamiz No.	1/2	3/8	4	8	16	fondo
% pasa	99,80	91,40	19,15	5,55	4,85	1,15
% retenido acumulado	0,20	8,60	80,85	94,45	95,15	98,85

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Análisis físico del agregado grueso curva No. 8**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Características físicas del agregado grueso curva No. 8**

Descripción	Cantidad
Peso específico	2,73
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1 396
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1 535
Porcentaje de absorción	1,00
Porcentaje pasa tamiz 200	1,15
Módulo de finura	5,79

Fuente: elaboración propia.

5.1.4. Aditivos

Son materiales distintos del agua, agregados, cemento hidráulico, y adiciones que se utilizan como ingredientes del concreto y se añaden a la mezcla inmediatamente, antes del mezclado o durante ese proceso, con el objeto de modificar sus propiedades y adecuarlos mejor a las condiciones de trabajo. Esto posibilita un transporte adecuado, comportamiento durante el colado y después de este o para reducir los costos de producción.

Según norma COGUANOR NTG 41070 “Aditivos químicos para concreto. Especificaciones” los aditivos químicos son del tipo A al tipo G. Las características de reducción en el agua de mezclado y de fraguado inicial para cada tipo de aditivo, se deben comparar con las de una mezcla de concreto de control que no contiene el aditivo; según su formulación estos aditivos, pueden ser usados para propósitos propios de cada caso.

Tabla XVI. **Clasificación de aditivos químicos, según COGUANOR NTG 41070**

Tipo de aditivo	Característica
Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardante
Tipo C	Acelerante
Tipo D	Reductor de agua y retardante
Tipo E	Reductor de agua y acelerante
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardante

Fuente: elaboración propia, con información COGUANOR NTG 41070.

La definición, dosificación y aplicación del aditivo acelerante de la resistencia se encuentra en el capítulo 3. La descripción de aditivo acelerante de fraguado se encuentra en el capítulo 4, y, generalmente, son recomendadas por el fabricante.

5.2. Ensayos y resultados obtenidos con aditivo acelerante de la resistencia

Consiste en la evaluación del comportamiento de la mezcla de concreto. Para ello, se llenan 6 cilindros de ensayo, testigo o mezcla patrón, dosis baja, dosis media y dosis alta de aditivo acelerante de la resistencia dentro del rango de uso que se recomienda generalmente en el medio de la construcción de Guatemala, ver tabla II y III.

Los datos del concreto fresco de la mezcla patrón y de las mezclas de concreto con aditivos, asentamiento (in), peso unitario (kg / m³) y porcentaje de aire, se obtuvieron en los distintos ensayos que se realizaron en laboratorio.

El asentamiento de una mezcla de concreto fresco para los diferentes testigos evaluados. Para ello, se utilizó el método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico, norma COGUANOR NTG 41052.

El porcentaje de aire en una mezcla de concreto fresco se obtuvo por el método de ensayo estándar para determinar el contenido de aire por medio de presión, el contenido de aire del concreto recién mezclado, norma COGUANOR NTG 41017h7.

Los datos del peso unitario de una mezcla de concreto fresco, se obtuvo del método de ensayo estándar para determinar por medio del método gravimétrico el peso unitario, volumen producido y contenido de aire del concreto, norma COGUANOR NTG 41017h5.

Tabla XVII. **Datos de concreto fresco bache práctico mezcla patrón**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	5 ¼	in
Peso unitario	2,338	Kg / m ³
Aire	1	%

Fuente: elaboración propia.

Las dosis utilizadas para el estudio del aditivo acelerante de la resistencia son: dosis baja 4,00 ml/kg, dosis media 10,5 ml/kg, dosis alta 17,00 ml/kg.

Tabla XVIII. Bache practico dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	40,16	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. Datos de concreto fresco bache práctico dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	5 ½	in
Peso unitario	2,322	Kg / m3
Aire	1,2	%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Bache práctico dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	105,43	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Datos de concreto fresco bache práctico dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	7	in
Peso unitario	2,325	Kg / m ³
Aire	1,2	%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Bache práctico dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	Kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	Kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	170,69	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Datos de concreto fresco bache práctico dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	7 ¼	in
Peso unitario	2,318	Kg / m ³
Aire	1,4	%

Fuente: elaboración propia.

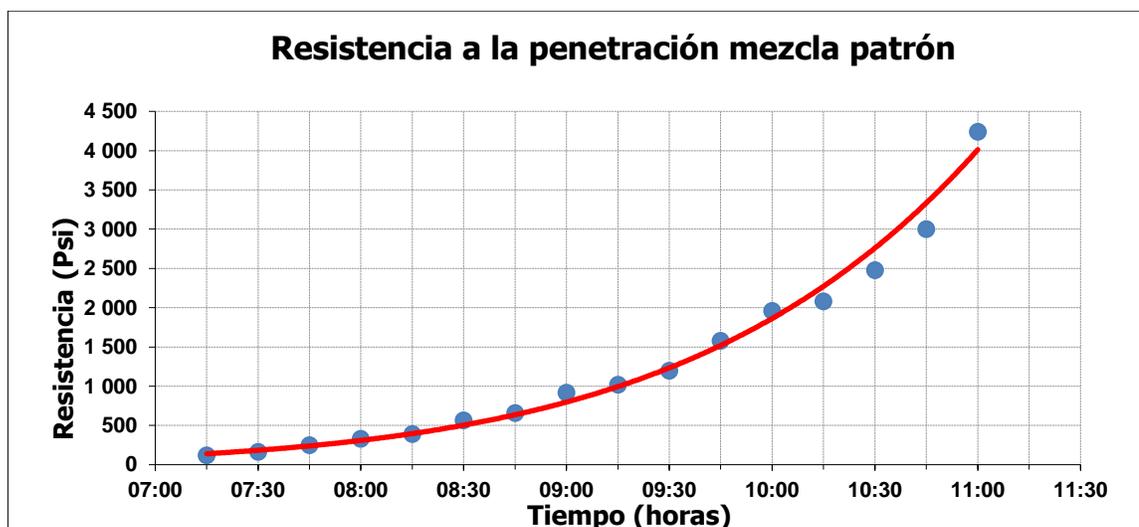
Los tiempos de fraguados de una mezcla de concreto fresco se obtuvo del método de determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración, norma COGUANOR NTG 4107h12.

Tabla XXIV. **Tiempo de fraguado en mezcla patrón**

#	Tiempo real	Área de aguja (in ²)	Carga (lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	07:15	1,000	122	122
2	07:30	1,000	164	164
3	07:45	0,500	126	252
4	08:00	0,500	166	332
5	08:15	0,250	98	392
6	08:30	0,250	142	568
7	08:45	0,100	66	660
8	09:00	0,100	92	920
9	09:15	0,100	102	1 020
10	09:30	0,100	120	1 200
11	09:45	0,100	158	1 580
12	10:00	0,050	98	1 960
13	10:15	0,050	104	2 080
14	10:30	0,050	124	2 480
15	10:45	0,050	150	3 000
16	11:00	0,025	106	4 240

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Resistencia a la penetración mezcla patrón**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Tiempos de fraguado de mezcla patrón con aditivo acelerante de la resistencia**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	8:30
Final (hh:mm)	11:00

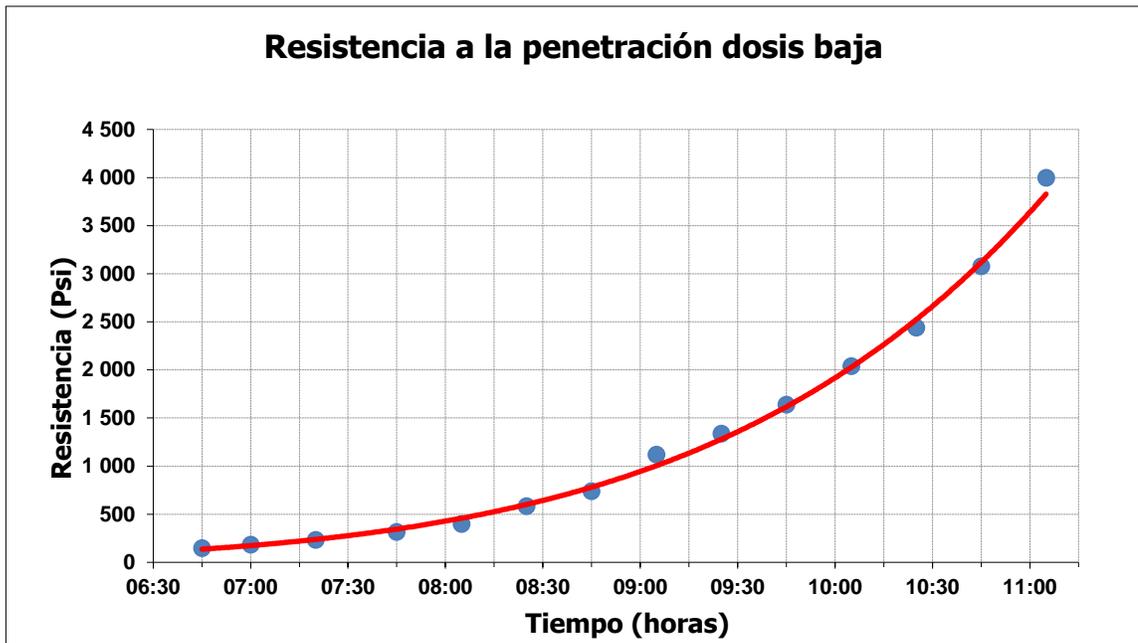
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Tiempo de fraguado en mezcla de concreto con dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

#	Tiempo real	Área de aguja (in²)	Carga (lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	06:45	1,000	150	150
2	07:00	0,500	92	184
3	07:20	0,500	118	236
4	07:45	0,500	158	316
5	08:05	0,250	100	400
6	08:25	0,250	146	584
7	08:45	0,100	74	740
8	09:05	0,100	112	1 120
9	09:25	0,100	134	1 340
10	09:45	0,100	164	1 640
11	10:05	0,050	102	2 040
12	10:25	0,050	122	2 440
13	10:45	0,050	154	3 080
14	11:05	0,025	100	4 000

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis baja (4 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	8:10
Final (hh:mm)	11:10

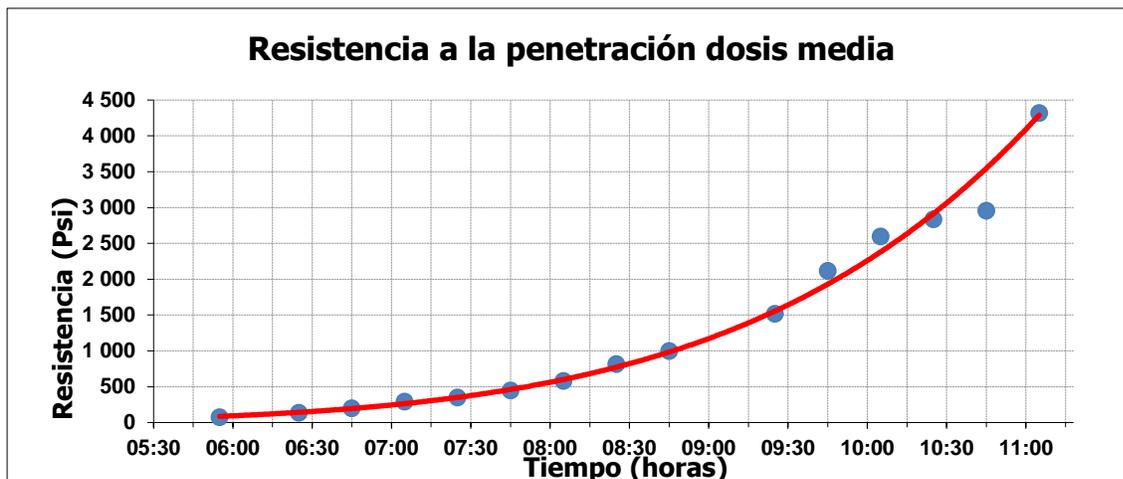
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Tiempo de fraguado en mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

#	Tiempo real	Área de aguja (in ²)	Carga (lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	05:55	1,000	78	78
2	06:25	1,000	138	138
3	06:45	0,500	100	200
4	07:05	0,500	148	296
5	07:25	0,250	88	352
6	07:45	0,250	112	448
7	08:05	0,250	146	584
8	08:25	0,100	82	820
9	08:45	0,100	100	1 000
10	09:25	0,100	152	1 520
11	09:45	0,050	106	2 120
12	10:05	0,050	130	2 600
13	10:25	0,050	142	2 840
14	10:45	0,025	74	2 960
15	11:05	0,025	108	4 320

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis media (10,5 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	7:10
Final (hh:mm)	11:00

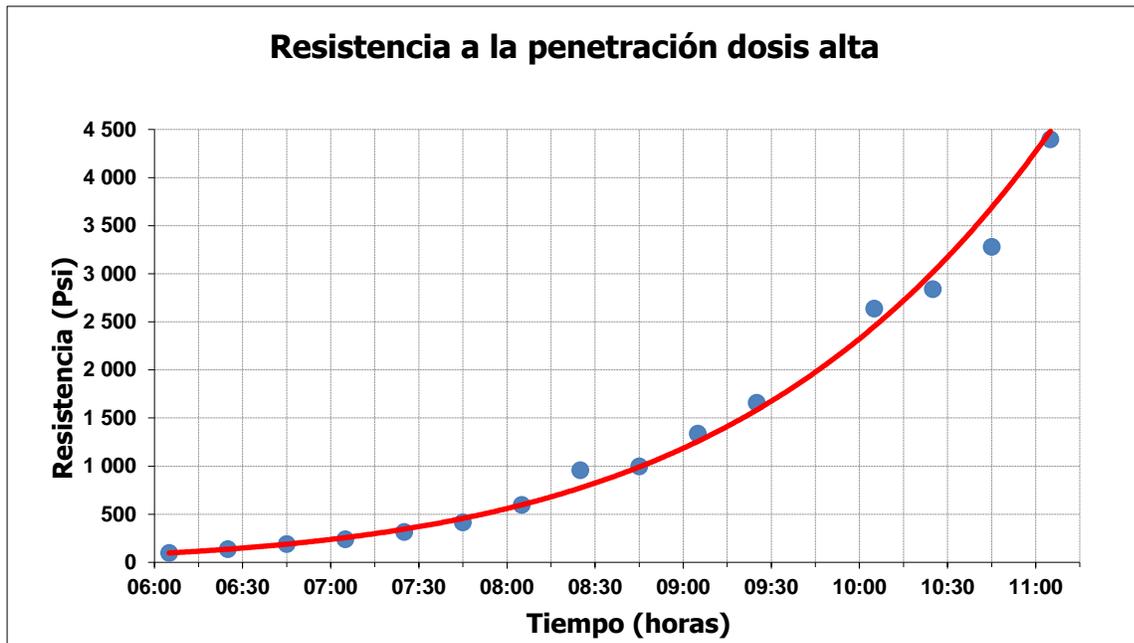
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Tiempo de fraguado en mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia**

#	Tiempo real	Área de aguja (in²)	Carga (lbs)	Resistencia penetración (psi)
1	06:05	1,000	98	98
2	06:25	1,000	138	138
3	06:45	0,500	96	192
4	07:05	0,500	120	240
5	07:25	0,500	158	316
6	07:45	0,250	104	416
7	08:05	0,250	150	600
8	08:25	0,100	96	960
9	08:45	0,100	100	1 000
10	09:05	0,100	134	1 340
11	09:25	0,100	166	1 660
12	10:05	0,050	132	2 640
13	10:25	0,050	142	2 840
14	10:45	0,025	82	3 280
15	11:05	0,025	110	4 400

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Resistencia a la penetración mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia



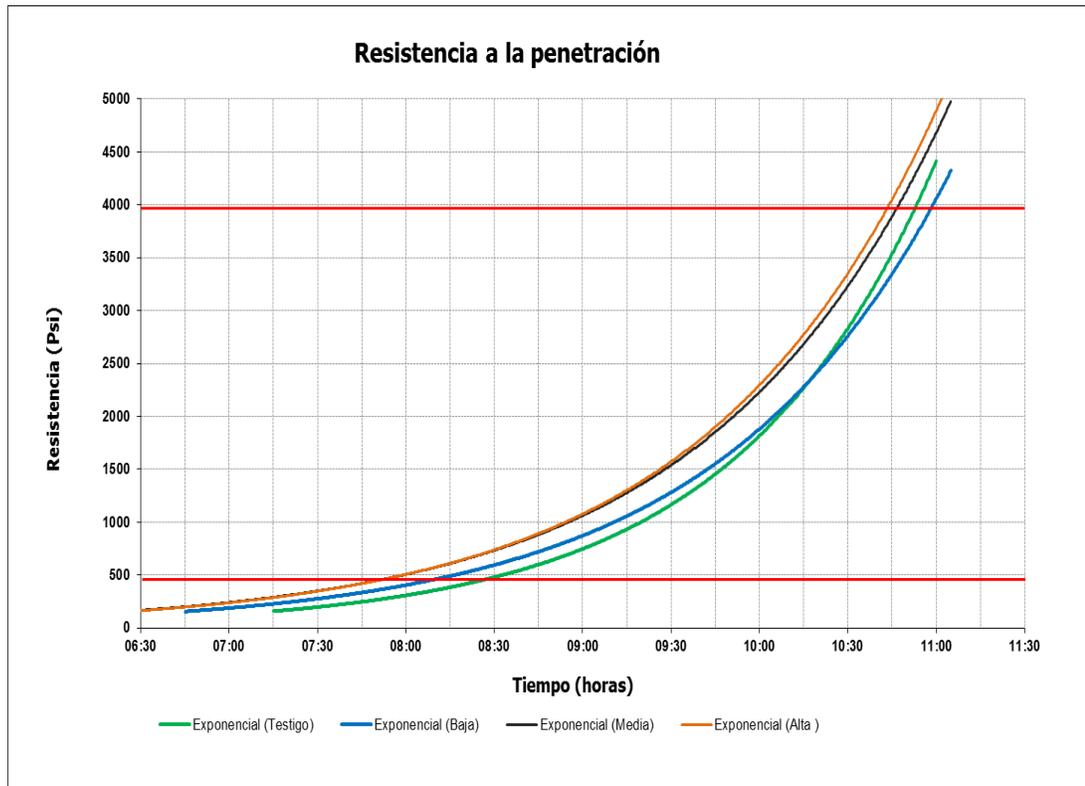
Tiempo: elaboración propia.

Tabla XXXI. Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis alta (17 ml/kg) de aditivo acelerante de la resistencia

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	7:50
Final (hh:mm)	10:50

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Resistencia a la penetración de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de la resistencia



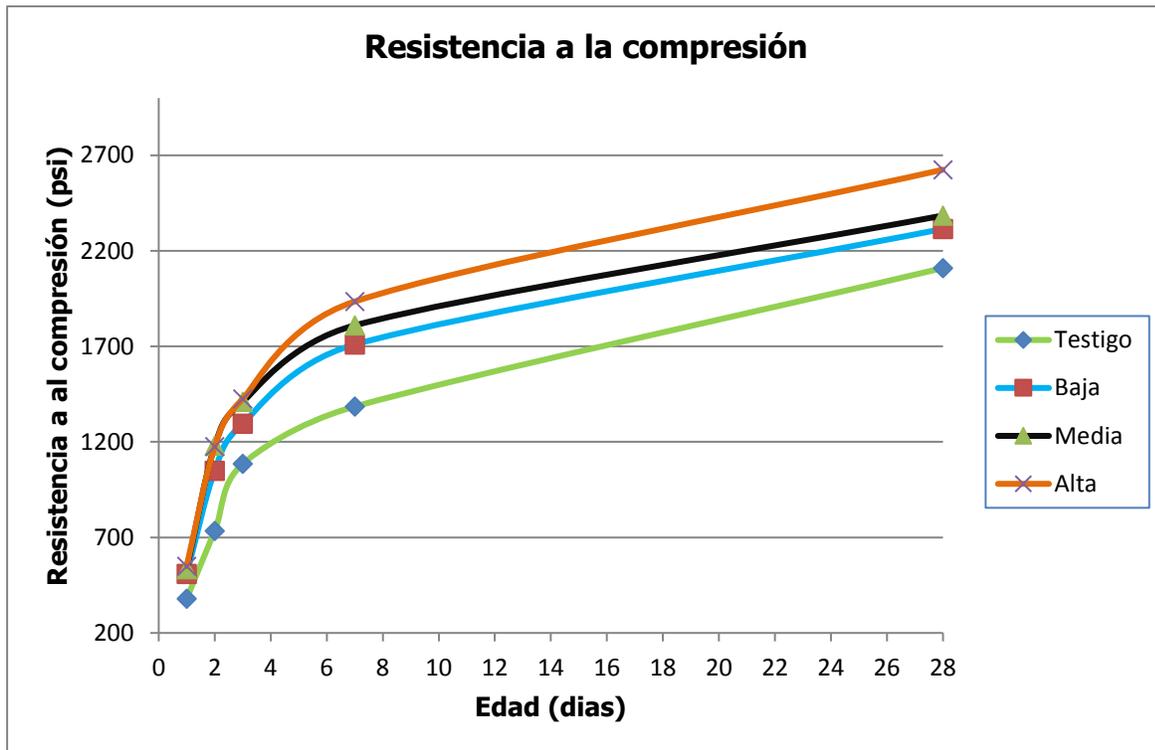
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Resistencia a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de la resistencia (psi)

Dosificación / Edad	1	2	3	7	28
Patrón	947	1 404	1 670	2 226	3 175
Dosis baja	1 140	1 735	1 926	2 457	3 474
Dosis media	1 140	1 726	1 948	2 574	3 279
Dosis alta	1 117	1 679	1 948	2 631	3 396

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Resistencia a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante a la resistencia



Fuente: elaboración propia.

5.3. Ensayos y resultados obtenidos con aditivo acelerante del fraguado

El ensayo consiste en la evaluación del comportamiento de la mezcla de concreto. Para ello se llenando 6 cilindros de ensayo, testigo o mezcla patrón, dosis baja, dosis media y dosis alta de aditivo acelerante del fraguado dentro del rango de uso que se recomienda generalmente en el medio de la construcción de Guatemala, ver tabla II y III.

El diseño de mezcla teórico y el bache práctico de mezcla patrón se observan en la tabla VIII diseño de mezcla teórica y tabla IX bache práctico mezcla patrón, igual que los datos de concreto fresco bache práctico mezcla patrón en tabla XVII.

Las dosis utilizadas para el estudio del aditivo acelerante del fraguado son: dosis baja 500 ml x saco de cemento (11,76 ml/kg), dosis media 750 ml x saco de cemento (17,60 ml/kg), dosis alta 1 000 ml x saco de cemento (23,53 ml/kg).

Tabla XXXIII. **Bache práctico dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	118,08	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Datos de concreto fresco bache práctico dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	5	in
Peso unitario	2,349	Kg / m3
Aire	1,5	%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Bache práctico dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	kg
AF1 (agregado fino)	25,01	kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	kg
Agua	7,87	litros
Aditivo	176,72	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Datos de concreto fresco bache práctico dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	5 1/4	in
Peso unitario	2,350	Kg / m3
Aire	1,6	%

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Bache práctico dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	11,55	Kg
AF1 (agregado fino)	25,01	Kg
AG1 (agregado grueso No. 5)	14,51	Kg
AG2 (agregado grueso No. 8)	24,92	Kg
Agua	7,87	Litros
Aditivo	236,26	ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Datos de concreto fresco bache práctico dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante del fraguado**

Descripción	Cantidad	Unidad
Asentamiento	6	In
Peso unitario	2,339	Kg / m ³
Aire	1,6	%

Fuente: elaboración propia.

Los tiempos de fraguados de una mezcla de concreto fresco, se obtuvo del método de determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración, norma COGUANOR NTG 4107h12.

Tabla XXXIX. **Tiempos de fraguado de mezcla patrón con aditivo acelerante de la resistencia**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	6:50
Final (hh:mm)	8:45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis baja (11,76 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	6:05
Final (hh:mm)	8:00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis media (17,60 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	5:50
Final (hh:mm)	7:35

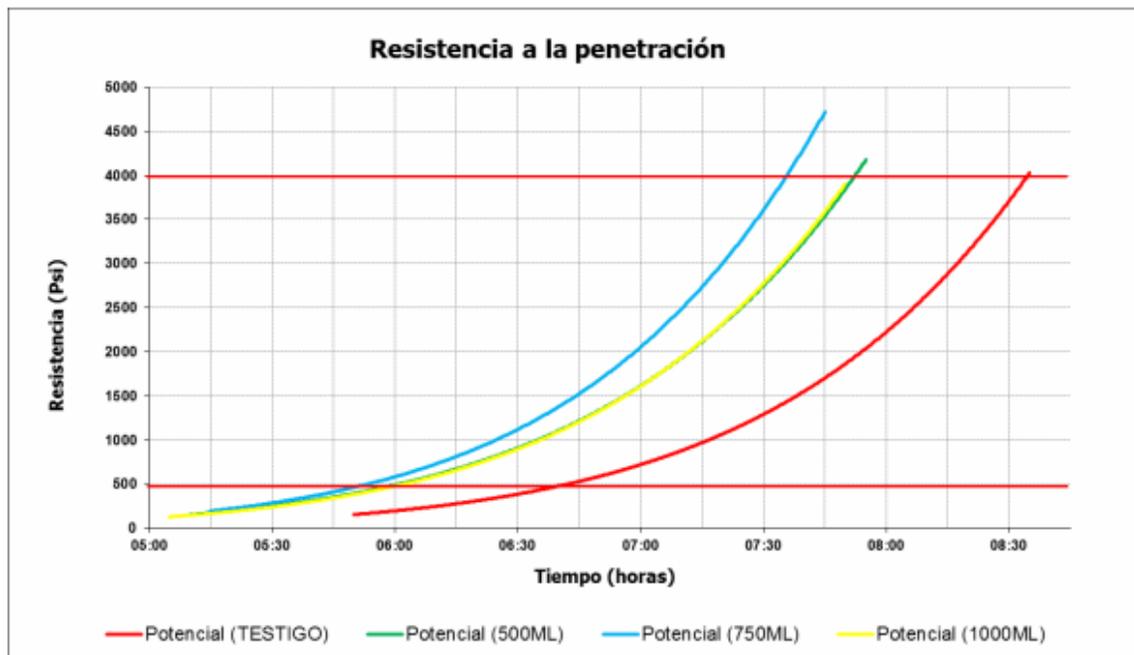
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Tiempos de fraguado de mezcla de concreto dosis alta (23,53 ml/kg) de aditivo acelerante de fraguado**

Tiempo de fraguado	Patrón
Inicial (hh:mm)	5:55
Final (hh:mm)	7:45

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Resistencia a la penetración de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante del fraguado**



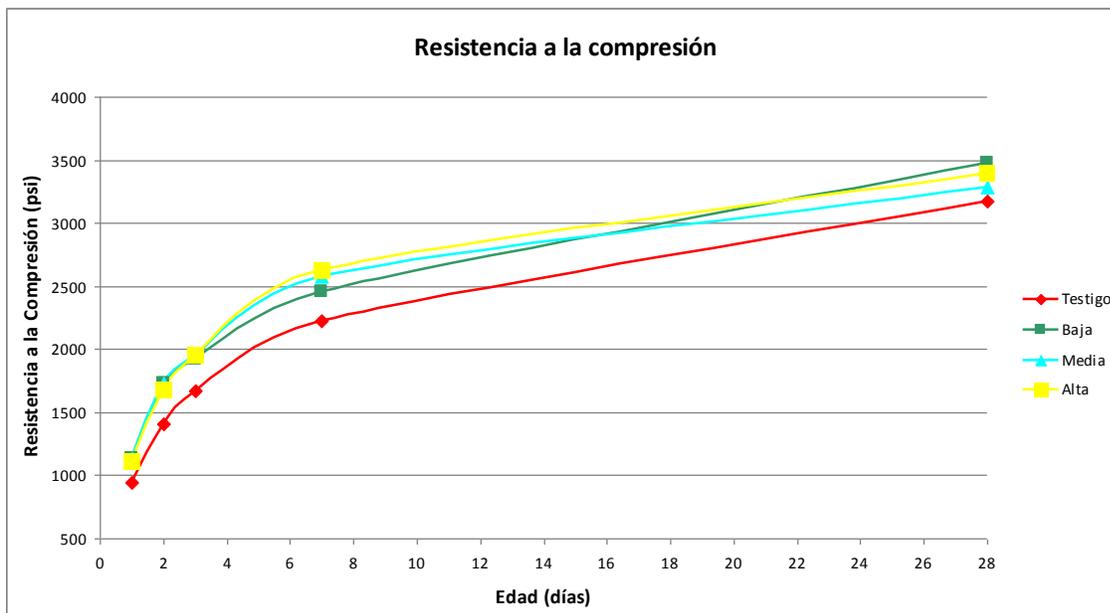
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Resistencias a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de fraguado (psi)**

Dosificación / Edad	1	2	3	7	14	28
Patrón	990	1 615	1 920	2 560	3 265	3 650
Dosis baja	1 310	1 995	2 215	2 825	3 410	3 995
Dosis media	1 310	1 985	2 240	2 960	3 450	3 770
Dosis alta	1 285	1 930	2 240	3 025	3 465	3 905

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Resistencias a la compresión de mezclas de concreto con varias dosis de aditivo acelerante de fraguado**



Fuente: elaboración propia.

5.4. Análisis

De la tabla 1, COGUANOR NTG 41070, requisitos físicos, se concluye:

Para el aditivo acelerante de resistencia

- No tiene ningún efecto en los tiempos de fraguado.
- Cumple todos los porcentajes de f'c a las distintas edades.

Para el aditivo acelerante de fraguado

- Solo la dosis alta cumple con los tiempos de fraguados inicial y final.
- Cumple todos los porcentajes de f'c a las distintas edades.

Los tiempos de fraguados dependen de la temperatura ambiente y la humedad relativa, por lo que se obtuvieron distintos tiempos, pero si tienen relación entre los ensayos del mismo día.

El aumento del asentamiento es efecto del agua en el que los componentes de cada aditivo vienen diluidos; esto puede considerarse para hacer alguna reducción de agua, que aumente la resistencia.

La inclusión de aire no es afectada.

CONCLUSIONES

Para el acelerante de la resistencia

1. El efecto del producto en el aumento de las resistencias es significativamente alto a las edades de 1 y 2 días. A las edades de 3, 7 y 28 días el aumento de resistencias se mantiene en menores proporciones.
2. La dosis no genera un efecto sensible en los tiempos de fraguado (inicial y final) de las mezclas de concretos evaluadas con respecto al testigo.
3. Las dosis media y alta aumentan en más de 30 % el asentamiento inicial de la mezcla de concreto.
4. El uso del producto no tiene ningún efecto en la inclusión de aire a las mezclas de concreto.

Para el acelerante de fraguado

5. El comportamiento del aumento de las resistencias a 1, 2 y 3 días es el mismo para las tres dosificaciones; a 7 días las dosificaciones media y alta aún mantienen un incremento significativo.
6. La dosis baja no cumple los tiempos que la norma indica para ser considerado un acelerante de fraguado, pero a edades de 1,2 y 3 días si aumenta las resistencias.

7. La dosis aumenta en más de 30 % el asentamiento inicial de la mezcla de concreto.
8. El uso del producto no tiene ningún efecto en la inclusión de aire a las mezclas de concreto.

RECOMENDACIONES

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. Promover la investigación del efecto de los diversos productos en los distintos tipos de cementos locales, considerando el uso de diferentes agregados.
2. Abrir un canal de información que comparta los resultados obtenidos de los diversos estudios realizados.

Al usuario final.

3. Realizar las correcciones necesarias de reducción de agua por el aumento de asentamiento de las diferentes dosis de ambos productos.
4. No usar más de la dosis media de acelerante de resistencia si el requisito a cumplir es resistencia a compresión a los 3 días.
5. Realizar las pruebas necesarias previo al uso de aditivos en un proyecto, ya que varían las condiciones a tener agregados y clima distintos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comisión Guatemalteca de Normas. *Aditivos químicos para concreto. Especificaciones*. Guatemala: COGUANRO 41070. 24 p.
2. _____. *Agregados para concreto. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR 41007. 24 p.
3. _____. *Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño*. Guatemala: COGUANOR 41095. 13 p.
4. _____. *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*. Guatemala: COGUANOR 41052. 9 p.
5. _____. *Método de ensayo. Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) rendimiento (volumen de concreto producido) y contenido de aire (gravimétrico) del concreto*. Guatemala: COGUANOR 41017h5. 9 p.
6. _____. *Método de ensayo. Determinación del contenido de aire del concreto hidráulico recién mezclado por el método de presión*. Guatemala: COGUANOR 41014h7. 21 p.
7. _____. *Método de ensayo. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto por su resistencia a la penetración*. Guatemala: COGUANOR 41017h12. 18 p.

8. _____. *Terminología referente al concreto y agregados para concreto*. Guatemala: COGUANOR 41006. 15 p.
9. Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala. [en línea]. <<https://www.iccg.org.gt/index.php/aci-guatemala/certificaciones-disponibles/certificacion-tecnico-en-ensayos-de-concreto-en-la-obra-grado-1>>. *Certificación ACI técnico para pruebas al concreto en la obra – grado 1*. Guatemala: ICCG, 2014. [Consulta: 25 de octubre de 2015].
10. Norma Técnica Guatemalteca. *Método de ensayo estándar para la determinación del revenimiento en el concreto a base de cemento hidráulico*. Guatemala: COGUANOR 41052. 9 p.
11. Sika. *Concretos aditivos para concreto*. Colombia: 2017. 47 p.
12. _____. *Hoja técnica aditivo acelerante de fraguado*. 2505201202 4a ed. México, 2017. 2 p.
13. _____. *Hoja técnica aditivo acelerante de resistencias – sin cloruros*. 4a ed. Ecuador, 2017. 2 p.