



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

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE
CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO**

Daniel Arnoldo Giraldo Díaz

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, septiembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE
CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DANIEL ARNOLDO GIRALDO DÍAZ

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
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:

EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 15 de marzo de 2013.



Daniel Arnoldo Giraldo Díaz



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 31 de julio de 2015

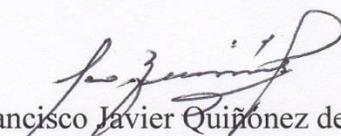
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO”**, desarrollado por el estudiante universitario **Daniel Arnoldo Giraldo Díaz**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Giraldo Díaz**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Ingeniero Civil Col. No. 1941



Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 3 de agosto de 2015

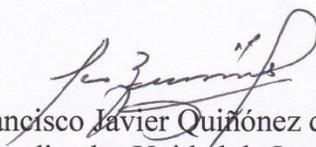
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO”**, desarrollado por el estudiante universitario **Daniel Arnoldo Giraldo Díaz**, quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Giraldo Díaz**, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Unidad de Investigación
Escuela de Ingeniería Civil



Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





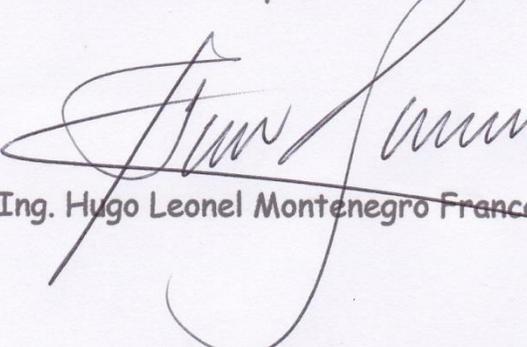
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador de la Unidad de Investigación , Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Daniel Arnoldo Giraldo Díaz, titulado **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua

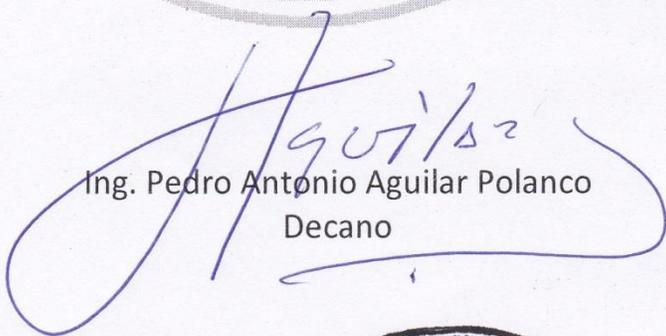




DTG. 480.2015

El Decano 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: **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN DE CEMENTO PORTLAND POR LA ADICIÓN MINERAL 1R 1.5 EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Arnoldo Giraldo Díaz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Arnoldo Giraldo y Sandra Díaz, gracias por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación, porque con su apoyo y aliento he logrado uno de mis más grandes anhelos, que es para mí la mejor de las herencias. Con amor y agradecimiento infinito.

Mi familia

Por la confianza que me dieron y ser parte de este logro y orgullo familiar.

Alejandra Mata

Por todo lo que me ha dado y sobre todo, por la confianza que me ha transmitido día con día, te amo.

Mis abuelos

Benjamín Giraldo (q. e. p. d.), Catalina García (q. e. p. d.) y Yolanda Díaz.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, Virgen María y Don Bosco	Por las oportunidades brindadas, armas necesarias y las cualidades para poder guiarme por buen camino y alcanzar este triunfo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de mi formación y preparación profesional.
Mi asesor	Ing. Francisco Javier Quiñónez, por su apoyo incondicional, dedicación y confianza para realizar este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Aproximación histórica de materiales aglomerantes y el cemento.....	1
1.1.1. Incidencia del cemento con el medio ambiente	3
1.1.2. Producción de cemento a nivel mundial	6
1.2. Planteamiento del problema	8
1.2.1. Problema	8
1.2.2. Propuesta	9
1.2.3. Justificación	9
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	11
2.1. Puzolana.....	11
2.1.1. Clasificación.....	12
2.1.2. Puzolanas de origen natural	13
2.1.3. Puzolanas de origen artificial	14
2.1.4. Clasificación de puzolana según Norma ASTM C 618-12	14
2.2. Puzolanas de origen natural en Guatemala.....	15

2.3.	Adiciones de puzolanas naturales en mezclas de concreto	17
2.4.	Normas utilizadas para la evaluación experimental	19
2.4.1.	Norma ASTM C31/C31M-12. Preparación y curado en obra de las probetas de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41061.....	19
2.4.2.	Norma ASTM C1064/C1064M-12. Determinación de la temperatura del concreto fresco con cemento hidráulico; equivalente a la norma Coguanor NTG-41053.....	23
2.4.3.	Norma ASTM C138/C138M-13a. Determinación de la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017h5.....	27
2.4.4.	Norma ASTM C231/C231M. Determinación del contenido de aire del concreto fresco, por el método de presión; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017h7.....	31
2.4.5.	Norma ASTM C143/C143M-12. Determinación del asentamiento en el concreto fresco; equivalente a la norma Coguanor NTG-41052.....	36
2.4.6.	Norma ASTM C39/C39M - 12a. Determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017.....	40
2.4.7.	Norma ASTM C-617/C617M-12. Práctica de cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41064.....	47

3.	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL.....	53
3.1.	Caracterización de materiales utilizados	53
3.1.1.	Cemento CFB.....	53
3.1.2.	Agregado grueso	54
3.1.3.	Agregado fino	55
3.1.4.	Aditivo reductor de agua de alto alcance.....	57
3.1.5.	Puzolana natural de origen volcánico	57
3.1.6.	Características geográficas	58
3.1.7.	Características físicas.....	58
	3.1.7.1. Granulometría de la adición mineral	58
	3.1.7.2. Características físicas naturales	59
3.2.	Metodología de trabajo	60
3.2.1.	Obtención de la adición 1R 1,5.....	61
3.2.2.	Preparación de la adición 1R 1,5.....	61
3.2.3.	Diseño de mezcla	61
3.2.4.	Porcentaje de sustitución de cemento por adición 1R 1,5 en mezclas de concreto	62
3.2.5.	Concreto fresco	63
	3.2.5.1. Muestreo de concreto fresco	63
	3.2.5.2. Determinación del revenimiento	64
	3.2.5.3. Determinación del peso unitario	64
	3.2.5.4. Determinación de la temperatura.....	65
	3.2.5.5. Determinación del contenido de aire (método de presión).....	66
	3.2.5.6. Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto.....	67
3.2.6.	Concreto endurecido	68

3.2.6.1.	Cabeceo de especímenes de concreto.....	68
3.2.6.2.	Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto	69
3.2.7.	Equipo utilizado	70
3.3.	Resultados de la evaluación experimental	76
3.3.1.	Determinación de asentamiento	76
3.3.2.	Determinación de temperatura	77
3.3.3.	Determinación de peso unitario	78
3.3.4.	Determinación de contenido de aire	79
3.3.5.	Determinación de resistencia a compresión.....	80
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	87
	CONCLUSIONES.....	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICES.....	99
	ANEXOS.....	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clinkerización	4
2.	Clasificación materiales puzolánicos.....	12
3.	Ubicación de material puzolánico en Guatemala	16
4.	Adiciones minerales en mezclas de concreto	17
5.	Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura.....	45
6.	Curva granulométrica número 8, según límites ASTM C33 agregado de 3/8 de pulgada	55
7.	Curva granulométrica según límites ASTM C33 agregado fino.....	56
8.	Mezclado de materiales	63
9.	Prueba de asentamiento del cono de Abrams	64
10.	Prueba de peso unitario	65
11.	Prueba de temperatura	66
12.	Contenido de aire por el método de presión	66
13.	Elaboración de especímenes de concreto	67
14.	Curado de especímenes de concreto.....	68
15.	Cabeceo de especímenes de concreto	69
16.	Ensayo a compresión.....	70
17.	Mezcladora de concreto marca Menegotti	70
18.	Cono de Abrams	71
19.	Equipo utilizado para peso unitario y contenido de aire	72
20.	Moldes cilíndricos de plástico.....	73
21.	Cinta de medición de diámetro.....	73
22.	Balanza de mesa digital	74

23.	Equipo para cabeceo de cilindros	75
24.	Máquina digital a compresión	75
25.	Gráfica de coeficiente de variación en el asentamiento del concreto ...	77
26.	Gráfica de coeficiente de variación en la temperatura del concreto.....	78
27.	Gráfica de coeficiente de variación en el peso unitario del concreto	79
28.	Gráfica de contenido de aire	80
29.	Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 7 días...	81
30.	Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 28 días	82
31.	Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 56 días	83
32.	Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 112 días	84
33.	Esfuerzos promedio de resistencia a compresión.....	85
34.	Gráfica de evolución en el tiempo de resistencia a la compresión del concreto	86

TABLAS

I.	Producción y consumo de cemento por regiones (millones de toneladas)	7
II.	Características fisicoquímicas	15
III.	Características de mezclas de concreto con adiciones minerales.....	18
IV.	Capacidad de recipiente para ensayo de peso unitario	29
V.	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo.....	42
VI.	Factor de corrección según la relación L/D.....	44
VII.	Valores de coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto	46
VIII.	Composición química y física del cemento CFB.....	54

IX.	Características físicas agregado de 3/8 de pulgada	55
X.	Características físicas agregado fino	56
XI.	Control de calidad en la fabricación de aditivo	57
XII.	Características geográficas adición mineral 1R 1,5	58
XIII.	Granulometría adición mineral	59
XIV.	Características físicas adición mineral	60
XV.	Dosificación de mezcla control	62
XVI.	Determinación de asentamiento.....	77
XVII.	Determinación de temperatura	78
XVIII.	Determinación de peso unitario.....	79
XIX.	Determinación de contenido de aire.....	80
XX.	Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 7 días	81
XXI.	Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 28 días	82
XXII.	Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 56 días	83
XXIII.	Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 112 días	84
XXIV.	Resumen de esfuerzos promedio de resistencia a compresión	85

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área de la cara axial del espécimen
cm	Centímetro
V%	Coeficiente de variación
D	Diámetro
R	Esfuerzo a la compresión del espécimen
°C	Grados centígrados
g	Gramo
kg	Kilogramo
kN	Kilonewton
P	Máxima carga aplicada
MPa	Megapascal
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetro
N	Norte
O	Oeste
a/c	Relación agua-cemento
f'c	Resistencia a la compresión
s	Segundo

GLOSARIO

Adición mineral	Materiales inorgánicos que son incorporados al cemento o al concreto en diferentes porcentajes, con el fin de mejorar sus propiedades.
Aditivo	Componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, cuya inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco.
Aglomerantes	Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por efectos de tipo exclusivamente físico.
ASTM	Siglas en inglés de American Society of Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).
Axial	Relativo a un eje.
Basalto	Roca ígnea volcánica de composición máfica, de color oscuro, rica en hierro y magnesio.
CFB	Cemento de secado rápido para fabricar blocks.

CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC.
Clínker	Principal materia prima de la que se obtiene el cemento Portland, por lo tanto es el más importante componente del concreto.
Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
Conglomerante	Material capaz de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto, por efectos de tipo exclusivamente químico.
Curado	Mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, para que desarrolle las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.
Dosificación	Proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto.
Espécimen	Muestra, modelo.
FICEM	Federación Interamericana del cemento.
<i>Fly Ash</i>	Ceniza volante, subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible.

Fodecyt	Fondo para el Desarrollo Científico y Tecnológico.
Hormigón	Concreto.
Mezcla	Es un material formado por dos o más sustancias puras pero no combinadas químicamente.
Molienda	Proceso que consiste en triturar una materia hasta reducirlo a trozos muy pequeños o a polvo.
Partícula	Es la menor proporción de materia de un cuerpo que conserva sus propiedades químicas.
Puzolana	Materiales con alto contenido de silicio y aluminio, con poca o ninguna propiedad cementante sino hasta pasar por algún proceso físico o químico y combinadas con cal y agua.
Resistencia	Capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse.

RESUMEN

Las puzolanas naturales son utilizadas en la construcción, en la fabricación de cementos o en la adición de mezclas de concreto, como es el caso de este trabajo de graduación. La puzolana natural empleada en este trabajo, fue recolectada en el banco de material llamado El Rancho, ubicado en el kilómetro 84 carretera CA-9 departamento de El Progreso e identificada como 1R 1,5. El objetivo general fue evaluar el efecto de la sustitución de cemento Portland por la adición mineral 1R 1,5 sobre la resistencia a compresión del concreto.

El trabajo se llevó a cabo en tres etapas fundamentales: en la primera se expone una explicación breve basada en temas relacionados con puzolana natural. La segunda etapa fue el desarrollo experimental de la mezcla de control, la cual sirvió de comparación de comportamiento con las diferentes mezclas que se elaboraron, haciendo la sustitución del cemento Portland por la adición mineral 1R 1,5. En esta misma etapa se desarrollaron ensayos de control de calidad, basados en las normas internacionales ASTM y nacionales Coguanor; principalmente se evaluó la resistencia a compresión, de las mezclas de cemento Portland con la adición mineral 1R 1,5 en distintas proporciones. En la tercera etapa se analizaron los resultados obtenidos, haciendo uso de herramientas estadísticas.

Una de las conclusiones generales a las que se llegó en este trabajo de graduación, es que se pueden alcanzar resultados iguales en prácticamente todos los aspectos analizados en las mezclas de concreto, al sustituir en no más de un 20 por ciento el cemento Portland por la adición mineral.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación Fodecyt número 023-2010, que se realizó en la sección de Economateriales del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) y la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el cofinanciamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de Guatemala, a cuyas instituciones se agradece por la oportunidad y el apoyo brindado.

OBJETIVOS

General

Evaluar experimentalmente el efecto que tendrá la sustitución de cemento Portland por la adición mineral 1R 1,5 en diferentes porcentajes, en la resistencia a compresión de mezclas de concreto.

Específicos

1. Elaborar el diseño de mezcla de control para que sirva como base de comparación.
2. Realizar mezclas de concreto para los diferentes porcentajes de puzolana adicionada a las mezclas de concreto.
3. Determinar las características de la adición mineral 1R 1,5.
4. Determinar las características de las muestras en estado fresco para las mezclas de concreto elaborado.
5. Determinar las características de las muestras en estado endurecido, para las mezclas de concreto elaborado, a diferentes edades.
6. Comparar y analizar los resultados a compresión, observando el aumento de resistencia en el tiempo.

INTRODUCCIÓN

En la tecnología del concreto actual, y en todos los continentes, hay una tendencia muy clara e irreversible hacia la utilización de los cementos adicionados (cementos con adiciones minerales), más aún que de los cementos Portland convencionales. Esta tendencia está asociada con la gran importancia que ha adquirido el concepto de durabilidad del concreto, y además con la creciente preocupación por los temas de protección ambiental y beneficios económicos (Salamanca, 2000).

La característica principal de esta mezcla es la adición mineral de origen volcánico; según Quiñónez (2013), Guatemala cuenta con un potencial recurso de origen volcánico que puede ser utilizado como adiciones minerales en la producción de cemento y otros materiales aglomerantes.

Para analizar el efecto de esta adición mineral, identificada como 1R 1,5 en mezclas de concreto, fue necesario realizar una evaluación experimental donde se demostraron las características físicas y mecánicas del concreto en estado fresco y endurecido, en especial la resistencia a compresión que este concreto desarrolle, siendo lo anterior el objetivo fundamental de este trabajo de graduación.

El trabajo de graduación consta de cuatro capítulos: el primero hace referencia a la aproximación histórica y antecedentes en el uso y aplicación de las puzolanas de origen volcánico. Se evidencia de manera resumida, la incidencia que tiene la producción de cemento a nivel mundial. Por último, en

este capítulo se presenta el problema, que junto a la propuesta y justificación, evidencian las razones por las cuales, se realizó esta investigación.

En el segundo capítulo se explica una serie de fundamentos básicos, los cuales abarcan la definición de puzolana, así como la clasificación de la misma. También se exponen las ventajas y desventajas que aportan las adiciones de puzolana natural en mezclas de concreto. Se detallan las normas utilizadas en la evaluación experimental, tanto internacionales como nacionales, las cuales indican el procedimiento que se llevó a cabo, para las pruebas en concreto fresco y endurecido para las mezclas de concreto evaluadas.

La caracterización de los materiales utilizados en las mezclas de concreto, evaluadas en este trabajo de graduación, se da a conocer en el tercer capítulo. Los materiales utilizados fueron el cemento, agregados fino y grueso, y puzolana natural 1R 1,5. Asimismo se indica la metodología utilizando el procedimiento de las normas expuestas en el anterior capítulo, se detallan las mezclas elaboradas en diferentes porcentajes de sustitución de cemento por adición mineral, el equipo y los ensayos realizados para las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

Por último, en el capítulo cuatro, se analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido. También se presentan los resultados obtenidos en los ensayos a compresión, evaluadas en las edades de 7, 28, 56 y 112 días; metodología basada en la Norma ASTM C 31, "Preparación y curado en obra de las probetas de concreto".

Con los resultados obtenidos, se evidencia experimentalmente que la mezcla 1R + 20 % alcanza a los 28 días, 34,11 MPa que es el 97,17 % de la

resistencia de diseño 35 MPa, la sustitución del cemento Portland por la adición mineral 1R 1,5 presenta un comportamiento de disminución, ya que al incrementar el porcentaje de sustitución disminuye la resistencia en las edades evaluadas. Dado este comportamiento, se determina que la adición mineral evaluada se puede utilizar como sustituto del cemento Portland, a la cantidad del 20 % en la fabricación de concreto para obras de tipo menor.

1. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Aproximación histórica de materiales aglomerantes y el cemento

Los materiales aglomerantes forman parte de la historia de la construcción prácticamente desde sus inicios. Su función principal es la de servir de material ligante, ya sea entre materiales pétreos de tamaño pequeño para formar los aglomerados, o bien entre aquellos de mayor tamaño, como los bloques de concreto para formar conglomerados.

Las primeras referencias históricas de su uso datan de la civilización egipcia, donde utilizaban barro mezclado con paja como material ligante para pegar ladrillos. También se han encontrado restos de cal y yeso en las pirámides, utilizados como morteros.

En la misma época los chinos utilizaban materiales cementantes para la construcción de la Gran Muralla. Pero no fue hasta la llegada de los romanos cuando se produjo definitivamente la expansión de estos materiales.

Descubrieron que mezclando cal con puzolanas de origen volcánico procedentes de la ciudad de Pozzoli, cerca de Nápoles, se obtenían pastas con propiedades cementantes. Esta puede considerarse la primera aproximación en el uso de la puzolana de origen volcánico, que constituyen la base de este trabajo de graduación.

Después de los romanos este material cayó en desuso y no fue utilizado hasta que a mediados del siglo XVIII el ingeniero británico John Smeaton, descubrió la fabricación de un cemento hidráulico quemando piedra caliza, que contenía impurezas de arcilla.

En 1812, Louis Vicat demostró que la naturaleza hidráulica de este componente procedía de la quema conjunta de caliza y arcilla, y en 1824 Joseph Aspdin patentó el cemento Portland.

Su combinación con agregados finos y gruesos y una relación entre el agua y cemento puede convertirse en hormigón, también llamado concreto, y la inclusión de refuerzo metálico para la fabricación del concreto armado proyectó su aplicación en obras de ingeniería cada vez de gran dimensión, como puentes, presas y edificios de gran altura, adaptándose perfectamente a la producción industrial.

En la década de los 80 los aditivos superplastificantes impulsaron la producción de concretos de altas prestaciones, mediante la introducción de adiciones minerales activas, que en combinación con los aditivos anteriores permitieron bajar el consumo de agua y lograr una matriz de concreto mucho más compacta.

De estas prácticas empíricas se ha pasado en la actualidad, y gracias al gran avance en la ciencia de materiales, se ha hecho un estudio profundo de las reacciones químicas que se dan en el proceso de hidratación cuando el cemento entra en contacto con el agua, permitiendo obtener resultados muy satisfactorios y un comportamiento predecible.

El cemento Portland es hoy día uno de los materiales más utilizados en todo el mundo. Se produce en alrededor de 150 países, principalmente en Asia, Europa y Medio Oriente. Su uso universal, su costo, la posibilidad de producción industrial, su gran versatilidad y los grandes resultados obtenidos en su utilización han hecho que este material haya relegado al olvido o a usos menores a todos sus predecesores. Tal es su expansión y su contribución al desarrollo de la humanidad que su nivel de producción en Guatemala es considerado como desarrollo económico para el país.

1.1.1. Incidencia del cemento con el medio ambiente

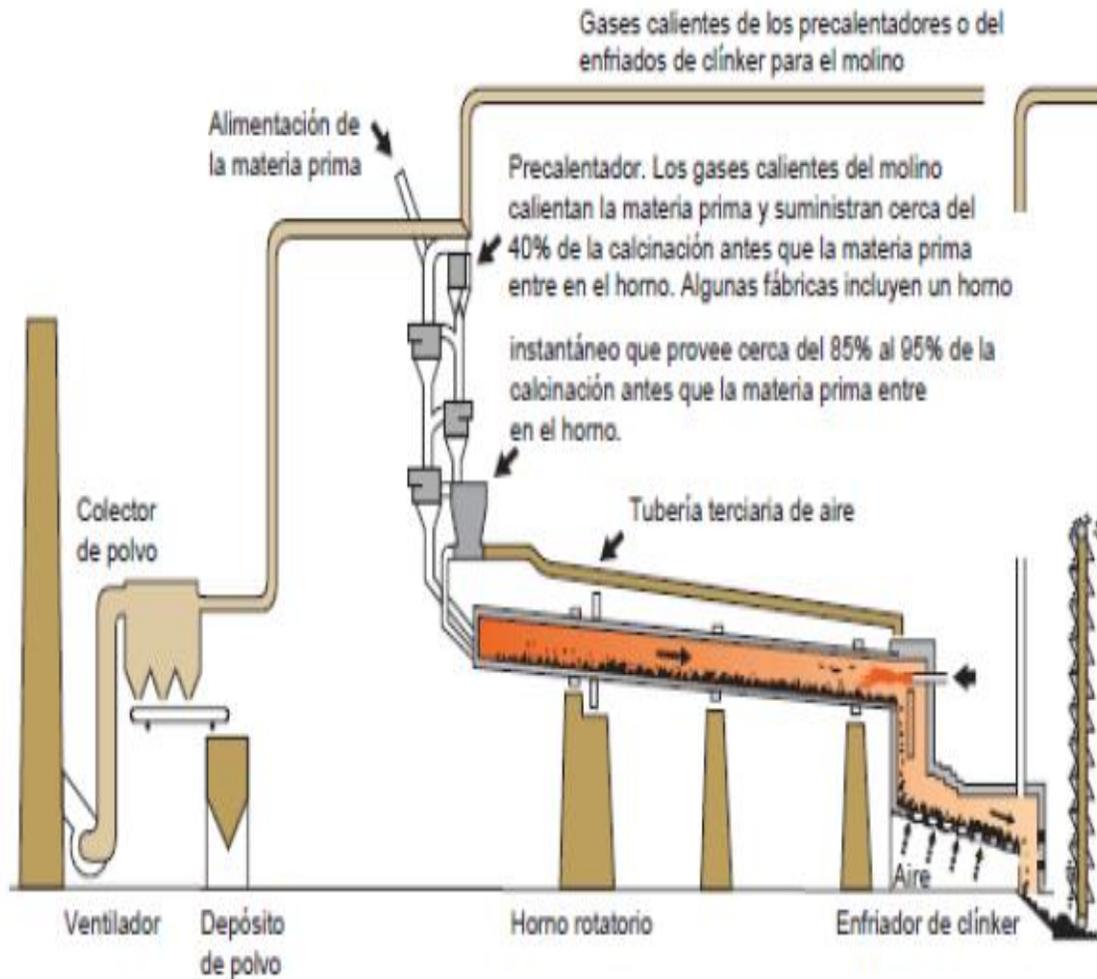
La producción del cemento se encuentra dentro de las cinco industrias que consumen mayor cantidad de energía a nivel mundial, es reponsable de cerca del 5 % del total de las emisiones de dióxido de carbono generadas por el hombre. Específicamente las cementeras absorben el 2 % del consumo total de energía y un 5 % de la energía industrial a nivel mundial.

“La producción mundial del cemento Portland ha experimentado un elevado crecimiento; en el 2000 fue de $1,75 \times 10^9$ toneladas, con un crecimiento anual del 3,5 % desde 1970. Estas producciones continuarán creciendo en los próximos años, pudiendo llegar a un incremento entre 120 % a 180 % en el 2020.”¹

El proceso de producción de cemento consiste básicamente en siete etapas; estudios geológicos y mineros, extracción de materiales, trituración de materias primas, molienda de materias primas, clinkerización de hornos, molienda de cemento y envasado.

¹ DÓPICO, Juan. *Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario*. p. 1.

Figura 1. **Clinkerización**



Fuente: Cementos Progreso. Diplomado en tecnología de materiales de construcción. Módulo 2.

Se estima que la producción de un kilo de este clínker requiere entre 3,6 y 6 MJ de energía térmica, dependiendo del proceso utilizado. El consumo eléctrico que se estima para la producción de una tonelada de clínker está entre 90 y 120 Kw/h y el promedio de consumo mundial aproximado es de 4,8 MJ/Kg de cemento. Las regiones de mayor consumo son: Europa Oriental, Norteamérica y Medio Oriente.

En lo referente a emisiones de gases de efecto invernadero, la principal aportación de la industria del cemento, es la enorme cantidad de dióxido de carbono liberado al ambiente. Este dióxido de carbono procede de dos fuentes principales: la primera es directamente de la descomposición de la piedra caliza para formar óxido de calcio (CaO); y la segunda directamente de la quema de combustible, bien sea directamente en el horno rotatorio utilizado para la obtención del clínker, o indirectamente en las centrales térmicas para generar la energía eléctrica necesaria.

Hay varios factores que influyen en la cantidad de dióxido de carbono emitido, como las particularidades de cada proceso productivo, los diferentes combustibles utilizados, la eficiencia energética o el contenido de clínker en el cemento.

Una de las principales medidas tomadas para detener o disminuir las emisiones de dióxido de carbono en el proceso de la producción de cemento, fueron clasificados principalmente en dos grandes grupos: utilización de combustibles alternos disminuyendo el uso de combustibles fósiles y añadiendo adiciones minerales activas o inertes en el proceso productivo del cemento o en la fabricación del concreto logrando una disminución del uso del clínker. Esta ha sido una de las principales prioridades de la agenda de la iniciativa para la sostenibilidad del cemento (CSI).

Estas medidas preventivas tomadas para la disminución de consumo energético y emisiones producidas por el dióxido de carbono son tan diminutas, en comparación con el incremento de producción de cemento a futuro. Los avances en las mejoras tecnológicas van avanzando con un ritmo pausado, ya que esto depende del nivel económico del país productor.

1.1.2. Producción de cemento a nivel mundial

En el informe estadístico presentado por la Federación Interamericana del Cemento (FICEM) en el 2013, se indicó que para el 2012 la producción del cemento en el Caribe y América Latina alcanzó los 180 millones de toneladas, lo cual es un crecimiento del 5,10 %, inferior al registrado en el 2011 que fue de 6,26 %. En Brasil, México, Colombia y Argentina se mantiene el liderazgo en la producción de cemento.

En Centro América el país que tuvo un aumento importante en la producción del cemento en el 2012 fue Panamá, que de un 18,44 % (2011) pasó a un 27,52 %. El crecimiento está relacionado con la inversión estatal en obras de infraestructura, tales como, la ampliación del canal, el metro, la modernización de la red vial, entre otros. Para Suramérica el país con aumento en la producción es Perú, que de un 2,42 % (2011) pasó a un 15.86%, gracias a la construcción de obras públicas y privadas, centros comerciales y proyectos habitacionales. También se hace mención que en Trinidad y Tobago se presentó disminución en la producción de un 21 % en el 2012.

A nivel mundial las cifras presentadas por Ficem, la producción del cemento en América Latina y el Caribe equivale al 11 % de la producción mundial. En China en el 2011 fue de 2,08 billones de toneladas producidas, equivalente al 57,2 % de la producción mundial de cemento; en el 2012 fue de 2,22 billones de toneladas. En los países como Estados Unidos y Japón, la producción de cemento ganó impulso, lo que resultó con incrementos de 9,1 % y 6,1 % anualmente. Moderadamente se registró un aumento en la producción del cemento en Canadá del 1,6 %, todo lo contrario en los países europeos que presentaron retrocesos en el crecimiento anual de la producción.

Tabla I. **Producción y consumo de cemento por regiones (millones de toneladas)**

Región	2010		2011		2012	
	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo
América Latina y el Caribe	161,150	159,390	172,460	170,370	180,110	178,120
Norte América	77,470	79,980	79,000	81,030	86,530	90,390
Europa Occidental	243,090	221,770	253,380	230,420	230,500	207,800
Europa Central	26,990	26,520	28,170	265,40	27,290	25,280
Europa Oriental	84,900	82,820	94,500	94,470	102,210	102,870
Norte y Este de África	118,860	130,310	116,580	126,460	133,060	136,180
Centro y Sur de África	30,720	40,570	37,800	45,400	45,100	50,520
Medio Oriente	169,040	167,090	176,620	176,730	188,070	181,810
Subcontinente Indio	276,840	273,920	293,750	293,500	302,200	303,520
Norte de Asia	2 008,080	1 959,730	2 209,800	2 161,180	2 352,770	2 272,310
Sur de Asia	157,420	156,450	166,560	165,910	172,610	173,850
Australasia	10,290	13,140	10,120	131,60	10,420	13,430
Total	3 364,850	3 311,690	3 638,740	3 585,170	3 830,870	3 736,080

Fuente: elaboración propia, con base en el informe estadístico 2013 FICEM.

El inicio de la industria cementera en Guatemala comienza en 1899 con la apertura de la primera empresa productora de cemento propiedad de Carlos Novella, empresa que con el paso de los años fue nombrada como Cementos Progreso y que en la actualidad sigue siendo la principal productora de cemento a nivel nacional.

Según el último informe estadístico que se tiene de Guatemala por parte del Ficem, en el 2009 Guatemala produjo 2,7 millones de toneladas de cemento y un consumo de 2,8 millones de toneladas. Guatemala con estas cifras es el noveno de diecisiete países productores en Latinoamérica.

1.2. Planteamiento del problema

La evaluación experimental que se realizó en este trabajo de graduación, solo pretende ser una herramienta para un posible estudio a fondo que se sume a otros que estén orientados a una solución del problema a largo plazo.

La finalidad de este trabajo de graduación tiene como intención demostrar que puede ser posible utilizar materiales alternativos de origen natural y nacional para la producción de concreto, eficientes no solo técnicamente sino también económicamente y que cumplan con los requerimientos para los cuales sea utilizado.

1.2.1. Problema

Debido al crecimiento de la población y la infraestructura en el país se ha incrementado la demanda en la utilización del cemento en mezclas de concreto; esto se podría convertir en amenaza en la producción del cemento Portland a nivel nacional, ocasionado por el alto consumo energético y los grandes volúmenes de gases de invernadero. El problema no solo va orientado al ambiente sino también económicamente, ya que el metro cúbico de concreto está alrededor de mil quetzales y utilizando métodos alternativos se reducirían ambos problemas.

Por los problemas mencionados, la evaluación experimental presentada en este trabajo de graduación, busca incrementar la utilización de yacimientos de material puzolánico que existen en el país en la industria de la construcción, no solo en construcciones pequeñas, sino que también en construcciones de gran envergadura.

1.2.2. Propuesta

La evaluación experimental propone la sustitución parcial del cemento utilizado en mezclas de concreto, por un determinado porcentaje de puzolana. El tipo de puzolana utilizada en la elaboración de concreto es identificada con el nombre de 1R 1,5 de color rosado, corresponde al grupo de puzolanas naturales de origen volcánico Lapilli y ceniza de pómez, proveniente del yacimiento ubicado en el km. 84, carretera CA-9.

1.2.3. Justificación

Guatemala cuenta con un potencial recurso de origen volcánico que puede ser utilizado como adiciones activas en la producción de concreto, según Quiñónez (2013). La selección de puzolanas naturales de origen volcánico como adición en las mezclas de concreto se basa en que se trata de un componente que desde la antigüedad ha sido utilizado, por lo que la base para ser utilizada es sólida; a pesar de esto el material no se conoce en todo su potencial cómo reacciona como adición activa; por lo que es necesario realizar un estudio a fondo.

Se tomó en consideración la disponibilidad con la que cuenta la adición de origen volcánico, los yacimientos se encuentran en forma natural y su explotación industrial es limitada, por lo que existe suficiente material y canteras disponibles.

Además, ante los problemas tanto económicos como ambientales del cemento, se propone la combinación de puzolana como una adición activa en la mezcla de concreto; con esto se logrará una disminución de la cantidad de cemento utilizado.

La justificación de esta propuesta en el trabajo de graduación, es que el cemento es y seguirá siendo, a mediano y largo plazo el material con mayor demanda en la construcción.

Day (trad. por Quiñónez, 2010) explica que las puzolanas tienen la característica de reducir sustancialmente el costo de la edificación. Estos materiales pueden ser mezclados con cal (o cemento Portland) para producir cementos mezclados, los cuales pueden reemplazar el cemento Portland puro, comúnmente utilizado en materiales de construcción tales como concreto, bloques y mortero de mampostería, ladrillos y otras unidades de construcción.

Guatemala como país en vías de desarrollo a nivel latinoamericano, cuenta con el escenario perfecto para la aplicación de esta evaluación experimental por varias razones, ya que el país engloba las carencias principales en un altísimo índice de construcción informal y de muy baja calidad.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Puzolana

La puzolana natural de origen volcánico fue uno de los materiales de construcción más antiguo al igual que la cal y la piedra caliza que fueron utilizadas en la época Prehistórica. Entre 1,600 y 1,500 antes de Cristo, en la ciudad de Santorín en Grecia, los romanos y los griegos utilizaban una combinación de cal y puzolana natural (ceniza volcánica) proveniente de erupciones volcánicas del Mediterráneo.

En el 79 después de Cristo, en la ciudad de Vesuvio, bahía de Nápoles en Italia, se utilizó esta combinación para fabricar cemento de gran durabilidad. El ingeniero romano Vitruvius Pollio mencionó que el concreto elaborado con esa combinación de materiales resultaba de buena calidad que ninguna ola podía romperlo, ni agua que pudiera disolverlo, criterio que continúa latente, siendo el cemento Portland puzolánico el más utilizado en las obras de ingeniería, debido a las características físicas ideales para larga vida útil para la cual están diseñadas.

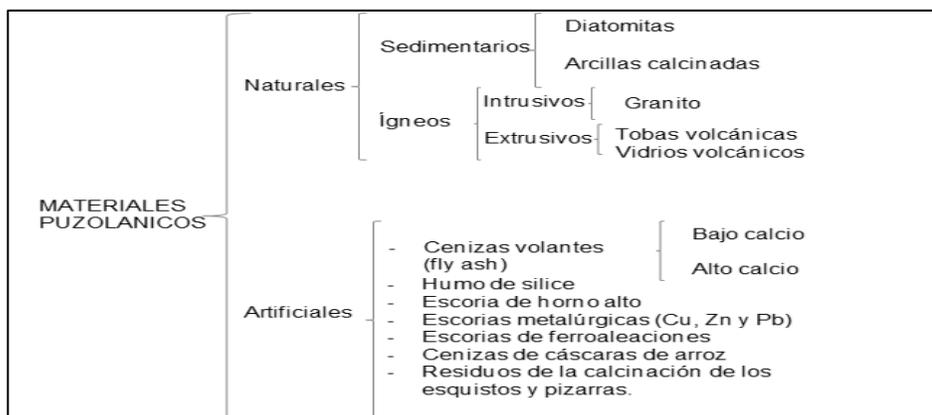
En el reporte del Comité 116 R-00 del American Concrete Institute (ACI) "*Cement and Concrete Terminology*" define a las puzolanas de la siguiente forma: "material silíceo o silicoaluminoso, que en sí mismo puede poseer un pequeño o nulo valor cementante, pero finamente dividido y en presencia de humedad reacciona químicamente con hidróxido de calcio a temperatura normal, formando compuestos con propiedades cementicias".

Hammond, Day y Quiñónez (2013), sugieren que la definición básica de una puzolana debiera ser cambiada a “un material silíceo, aluminoso y ferroso que por sí solo no es cementante, pero que bajo ciertos estados de cristalinidad y estructura, podría reaccionar con cal en presencia de humedad, a temperatura y presión normales, para formar productos cementantes”.

2.1.1. Clasificación

En este apartado se hace referencia de forma breve a la clasificación de puzolanas, ya que este tema ha sido explicado en otros trabajos, algunos citados en la bibliografía. Las puzolanas se pueden clasificar en dos grandes grupos según su origen: naturales como materias de origen volcánico, materias sedimentarias de origen animal o vegetal, y artificiales como materias tratadas y subproductos de fabricación industrial; también se clasifican según Norma ASTM C 618-12.

Figura 2. Clasificación materiales puzolánicos



Fuente: QUIÑONEZ, Luis. *Evaluación experimental del efecto de la sustitución de cemento Portland por la adición mineral 2T 1.5 en la resistencia a compresión de mezclas de concreto.*

2.1.2. Puzolanas de origen natural

Son materiales o productos minerales provenientes de erupciones volcánicas o de procesos naturales sin ningún tipo de proceso industrial. Las puzolanas naturales son principalmente rocas volcánicas que abarcan dos grandes grupos:

- Orgánicas: “estas puzolanas de origen natural son aquellas provenientes de algún organismo vivo. Las puzolanas de origen orgánico como las diatomeas, son sedimentos lacustres muy finos que se encuentran en depósitos, por la acumulación de algas microscópicas unicelulares que al morir se asentaron en el lecho marino. Como toda una buena puzolana, contienen una alta capacidad de retención de sílice al impregnar en sus membranas o paredes con ella.”²
- Inorgánicas: “estos materiales provenientes siempre de procesos naturales, pero no de seres vivos, son definidos “como materiales vítreos procedentes de las erupciones volcánicas que no llegaron a cristalizarse en su conformación estructural. Según su naturaleza, las puzolanas de origen volcánico más comunes se pueden encontrar como ceniza volcánica o arena pómez.”³

² BAUTISTA, Pablo J. *Determinación del índice de reactividad mecánica de 18 muestras de materiales volcánicos de Guatemala*. p. 2.

³ Op. Cit. p. 3.

2.1.3. Puzolanas de origen artificial

Son subproducto de distintos procesos industriales y agrícolas que se encuentran en vías de expansión debido a su amplio campo de investigación. Existen varias clases de puzolanas dentro de este grupo, como ejemplo se puede mencionar la ceniza volante (Fly Ash) subproducto de los hornos que emplean carbón mineral, la escoria de alto horno, la arcilla cocida, la ceniza de cáscara de arroz, la ceniza de hoja de maíz y la de bagazo de caña de azúcar.

2.1.4. Clasificación de puzolana según Norma ASTM C 618-12

Esta norma describe y caracteriza las puzolanas en tres grupos dividiéndolas en clases, siendo estas; clase F, clase C y clase N. Estas características fisicoquímicas están representadas en la siguiente tabla que fue extraída de la norma.

- Clase N: puzolanas de origen natural, como tierras diatomeas, pizarras o cenizas volcánicas.
- Clase F: cenizas volantes procedentes de la quema de carbón bituminoso.
- Clase C: cenizas volantes procedentes de la quema de carbón subbituminosos y generalmente poseen un contenido bajo en calcio.

Tabla II. **Características fisicoquímicas**

		Clase		
		N	F	C
Características químicas				
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	Min. %	70,0	70,0	50,0
SO ₃	Máx. %	4,0	5,0	5,0
Contenido de humedad	Máx. %	3,0	3,0	3,0
Pérdida de ignición	Máx. %	10,0	6,0	6,0
Características físicas				
Finura + malla No. 325	Min. %	34,0	34,0	34,0
Fuerza índice de actividad	Máx. %	75,0	75,0	75,0
Requerimiento de agua	Máx. %	115,0	105,0	105,0
Autoclave expansión o contracción	Máx. %	0,8	0,8	0,8
Requisitos de uniformidad				
Densidad Var. Máx.	Máx. %	5,0	5,0	5,0
Porcentaje retenido malla Núm. 325	Máx. %	5,0	5,0	5,0

Fuente: elaboración propia, con base en la Norma ASTM C618-12.

2.2. Puzolanas de origen natural en Guatemala

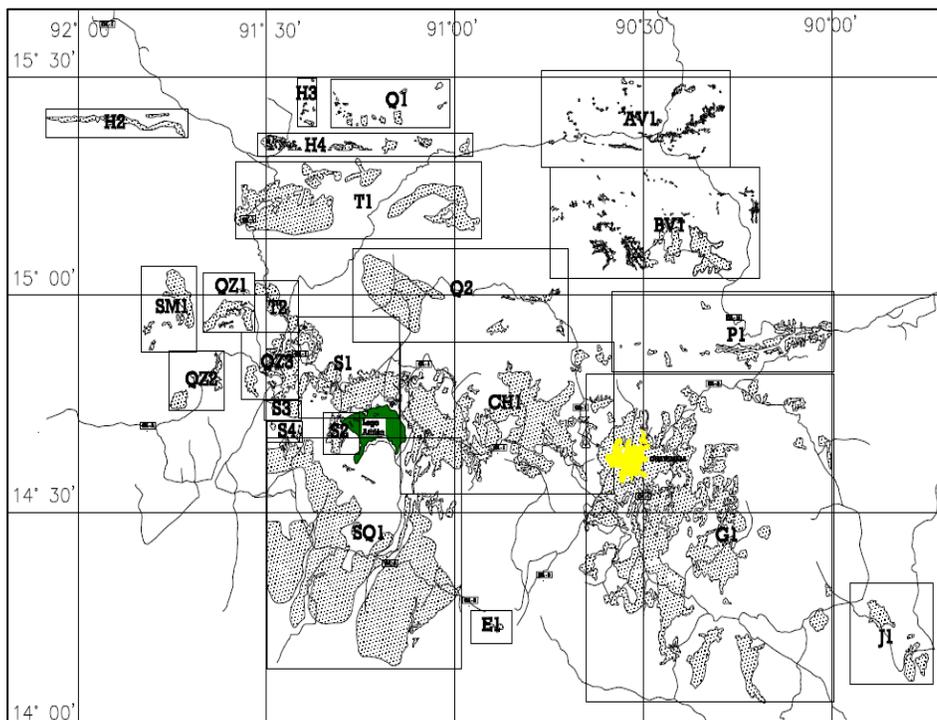
Guatemala es tierra de volcanes y por ende una región con alta actividad volcánica, la cordillera central del país es atravesada por varias cadenas montañosas; varios de ellos activos y a corta distancia unos de otros, con alturas de hasta 4000 m.

Los depósitos estratigráficos formados de cenizas volcánicas y de pómez fueron originados por las erupciones del periodo cuaternario y terciario tardío. Para conocer los bancos de material volcánico, Williams (1960) realizó un extenso reconocimiento geológico tomando como base el estudio realizado por

McBirney (1963), donde caracterizó 6 zonas de material volcánico (pómez), discutiendo su origen. Detectó material piroclástico en las cercanías de Salamá y Cobán, este estudio se detalla en el documento *Volcanic History of the Guatemalan Highlands*.

En el instituto Geográfico Nacional (IGN) se encuentran varios mapas geológicos que son resultado de los estudios antes mencionados. En la figura 3 se muestra la localización del material volcánico en el cinturón volcánico de Guatemala.

Figura 3. **Ubicación de material puzolánico en Guatemala**

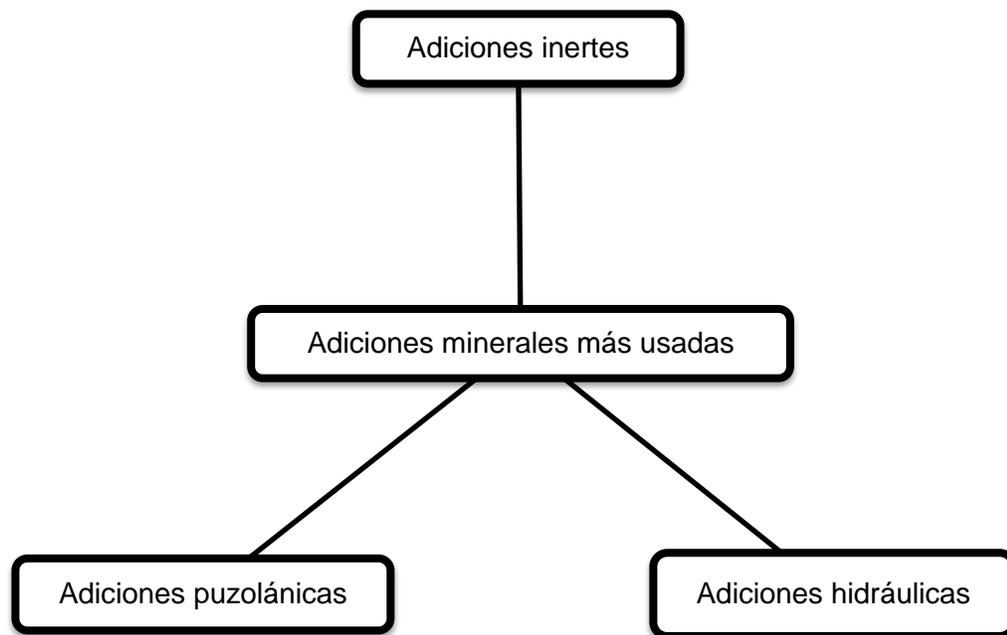


Fuente: ARRIVILLAGA, Manuel. *Evaluación geológica de bancos de puzolanas en el occidente del país*. p. 25.

2.3. Adiciones de puzolanas naturales en mezclas de concreto

El concreto adicionado, es una mezcla de cemento Portland, agregados finos y gruesos, agua y puzolana natural; este tipo de concreto es producido por la mezcla de sus componentes. En el caso de la adición mineral (puzolana natural) tiene que estar finalmente molida previo a su uso; puede ser añadida a la mezcla de concreto como un ingrediente dosificado molida íntimamente con el clínter y mezclada durante la fabricación del cemento.

Figura 4. Adiciones minerales en mezclas de concreto



Fuente: elaboración propia.

Las cenizas volantes, escorias granuladas, microsilíce y otras puzolanas naturales son las adiciones minerales más utilizadas. El cemento puzolánico ofrece muchas ventajas sobre los otros, y esto debido al efecto puzolánico, que consiste en que los aluminosilicatos presentes en la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado en la hidratación del cemento Portland. Esto se realiza en una reacción lenta (que disminuye el calor), consume el hidróxido de calcio (lo que mejora su resistencia frente a ambientes ácidos), y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de la hidratación del cemento (lo que aumenta la impermeabilidad y la resistencia mecánica).

En la siguiente tabla se hace referencia a las ventajas y desventajas que presentan las mezclas de concreto cuando se utiliza adiciones minerales.

Tabla III. **Características de mezclas de concreto con adiciones minerales**

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejoramiento de las propiedades y de su calidad. 2. Posibilidad de producir concreto para diversas aplicaciones específicas. 3. Conservación de la energía térmica y de los recursos minerales. 4. Necesidad de disminuir emisiones de CO₂ y de calor a la atmosfera. 5. Posibilidad para utilizar subproductos de otras industrias. 6. Incremento de la productividad en la industria cementera. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Necesidad de mayor cantidad de agua para el mezclado. 2. Necesidad de mayor cuidado en el curado del concreto. 3. Menores resistencias a la compresión en edades cortas. 4. Mayores resistencias a partir de los 28 días de fraguado e incluso antes.

Fuente: elaboración propia.

En Guatemala, el uso de las puzolanas se comenzó como adición activa mezclada con cemento Portland en los 80. En los 90 se comenzó a fabricar cemento mezclado con este material, con un contenido de puzolana del 15 %, de acuerdo con las normas internacionales.

2.4. Normas utilizadas para la evaluación experimental

Todos los procedimientos, equipo y materiales utilizados en este trabajo de graduación se rigen bajo normas internacionales American Society for Testing and Materials (ASTM) y su equivalente a las Normas Técnicas Guatemaltecas (Coguanor); por lo que la evaluación experimental se realizó bajo condiciones controladas y normalizadas.

2.4.1. Norma ASTM C31/C31M-12. Preparación y curado en obra de las probetas de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41061

Esta norma explica los procedimientos para preparar, curar, proteger y transportar las probetas de ensayo de concreto; utilizando muestras representativas.

- Equipo necesario:
 - Moldes: deben estar hechos de acero, hierro forjado o cualquier otro material no absorbente que no sea reactivo con el concreto y que conserven sus dimensiones y forma bajo cualquier condición de uso. Antes de usarse, los moldes deben estar ligeramente cubiertos con aceite mineral o con un desmoldante no reactivo.

- Varilla: de acero con un diámetro de 5/8 de pulgadas (16 mm) y con una longitud de 20 pulgadas (500 mm), con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro.
- Mazo: se debe de utilizar un mazo con cabeza de hule o cuero que pese $1,25 \pm 0,50$ lb ($0,6 \pm 0,2$ kg).
- Equipo adicional
 - Liana, plancha de metal y depósito que contenga el íntegro de la mezcla a colocar en la probeta (una carretilla de obra cumple este requerimiento).
- Muestreo
 - Las probetas, para determinar la resistencia a la compresión, deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro, siendo estas probetas cilíndricas de 6x12 pulgadas (150 x 300 mm) o de 4x8 pulgadas (100x200 mm) cuando se especifique.
 - Para el muestreo de concreto en mezcladoras estacionarias, tomar dos o más porciones de concreto a intervalos regulares para formar una muestra compuesta, durante la mitad de la descarga, sin exceder, 15 minutos desde la toma de la primera porción hasta la última. Llevar las muestras individuales al lugar donde se moldearán las probetas de concreto fresco: las muestras de concreto deben remezclarse con una pala en el menor tiempo

posible para asegurar la uniformidad de la muestra compuesta y cumplir con el límite de tiempo máximo especificado.

- Colocar el molde sobre una superficie rígida, horizontal, nivelada y libre de vibración.
- Colocar el concreto en el interior del molde, depositándolo con cuidado alrededor del borde para asegurar una distribución uniforme del concreto y minimizar la segregación.
- Llenar el molde en tres capas de igual volumen. En la última capa agregar la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Ajustar el sobrante o faltante de concreto con una porción de mezcla y completar el número de golpes faltantes. Cada capa se debe compactar con 25 penetraciones de la varilla, distribuyéndolas uniformemente en forma de espiral y terminando en el centro. La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda y tercera capa se compacta penetrando aproximadamente 1 pulgada (25 mm) en la capa anterior. Después de compactar cada capa golpear los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma, para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas, utilizar la palma de la mano para golpear ligeramente los moldes cilíndricos desechables que son susceptibles a dañarse si se golpean con el mazo.
- Eliminar el excedente de concreto en los lados y extremos del molde con una llana metálica para mejorar el acabado superior.

Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada.

- Identificar los especímenes con la información correcta respecto de la fecha, tipo de mezcla y lugar de colocación. Hay que proteger adecuadamente la cara descubierta de los moldes con telas humedecidas o películas plásticas para evitar la pérdida de agua por evaporación.
- Después de elaboradas, las probetas se transportarán al lugar de almacenamiento donde deberán permanecer sin ser perturbadas durante el periodo de curado inicial. Si la parte superior de la probeta se daña durante el traslado, se debe dar nuevamente el acabado. Durante las primeras 24 horas los moldes deberán estar a las siguientes temperaturas: para $f'c > 422$ kilogramo/centímetro cuadrado: entre 20 y 26 grados Celsius y para $f'c < 422$ kilogramo/centímetro cuadrado: entre 16 y 27 grados Celsius.
- Se deben preparar al menos (2) probetas de ensayo de cada muestra para evaluar la resistencia a la compresión en determinada edad por el promedio. Lo usual es evaluar resistencias a los 7 y 28 días.
- **Desmoldado:** las probetas se retirarán de los moldes entre las 18 y 24 horas después de moldeadas. Hecho esto se marcará en la cara circular de la probeta las anotaciones de la tarjeta de identificación del molde. Luego de esto deben pasar a curado.

- Curado: después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, deben almacenarse las probetas en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua a una temperatura de entre 23 y 25 grados Celsius. Deben mantenerse las probetas en las mismas condiciones de la estructura origen (protección, humedad, temperatura, entre otras.).

El laboratorio, además de certificar la resistencia, se debe dejar constancia del peso y dimensiones de las probetas y de la fecha y hora del ensayo.

Cuando las variaciones entre resultados de una misma mezcla son muy grandes, es posible que obedezcan a las diferencias en los procesos de toma de muestra, las condiciones de ensayos y la evaluación del concreto. Estas variaciones pueden obedecer a diversas causas, unas de las principales es un procedimiento inadecuado de muestreo, mala elaboración de cilindros, curado inapropiado y condiciones deficientes durante el transporte.

2.4.2. Norma ASTM C1064/C1064M-12. Determinación de la temperatura del concreto fresco con cemento hidráulico; equivalente a la norma Coguanor NTG-41053

Esta norma permite medir la temperatura de mezclas de concreto fresco; puede usarse para verificar la calidad del concreto y que este cumpla con los requerimientos especificados para la temperatura.

La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el ambiente, la temperatura es uno de los factores más

importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto.

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más baja de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida.

- Equipo necesario
 - Recipiente: debe ser no absorbente, y permitir un recubrimiento de al menos 3 pulgadas (75 mm) en todas las direcciones o por lo menos en 3 veces el tamaño máximo del agregado.
 - Medidor de temperatura: debe ser capaz de medir la temperatura de la mezcla de concreto fresco con una precisión de ± 1 grado Fahrenheit ($\pm 0,5$ grados Celsius) dentro del rango de 30 a 120 grados Fahrenheit (0 a 50 grados Celsius) de temperatura.
 - Calibración del medidor de temperatura: el aparato medidor de temperatura debe calibrarse anualmente o cuando se tenga duda de su grado de exactitud. La calibración de los medidores de temperatura puede ser realizada en aceite u otras inmersiones que tenga densidad uniforme, si este está provisto para:
 - Mantener la temperatura constante del baño dentro de los 0,5 grados Fahrenheit (0,2 grados Celsius) durante el periodo de prueba.

- Mantener la temperatura y el medidor de temperatura inmersos por un mínimo de cinco minutos antes de tomar lectura.
 - Mover continuamente la cantidad de agua para mantener la temperatura uniforme.
- Muestra
 - La temperatura de la mezcla de concreto puede medirse en el equipo de transporte, si es que el aparato medidor está cubierto por al menos 3 pulgadas de concreto (75 mm) en todas las direcciones.
 - La temperatura de la mezcla de concreto puede obtenerse después de vaciar el concreto.
 - Si no se mide la temperatura en el equipo de transporte, debe prepararse una muestra como se indica a continuación:
 - Humedecer (con agua) el recipiente en el que obtendrá la muestra del concreto.
 - Obtener una muestra de concreto recién mezclado según la Norma ASTM C172.
 - Colocar el concreto recién mezclado en el recipiente no absorbente.

- Procedimiento
 - Obtener una muestra de concreto dentro de un contenedor no absorbente, de tamaño suficiente para proveer un mínimo de 3 pulgadas (75 mm) de concreto alrededor del sensor de temperatura en todas las direcciones.
 - Utilizar un termómetro con una exactitud de $\pm 0,5$ grados Celsius (1 grado Fahrenheit), e intervalo de temperatura de 0 a 50 grados Celsius (30 a 120 grados Fahrenheit).
 - Utilizar un termómetro con una exactitud de ± 1 grado Fahrenheit ($\pm 0,5$ grados Celsius), e intervalo de temperatura de 30 a 120 grados Fahrenheit (0 a 50 grados Celsius).
 - Colocar el termómetro dentro de la muestra cubriendo el sensor con un mínimo de 3 pulgadas (75 mm) en todas las direcciones. Cerrar desde la izquierda presionando con delicadeza el concreto alrededor del medidor de temperatura en la superficie del concreto, para así prevenir que la temperatura ambiente afecte la lectura en el instrumento.
 - Tomar la lectura de temperatura después de un tiempo mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice, luego leer y registrar.
 - Completar la medición de la temperatura dentro de los 5 minutos siguientes a la obtención de la muestra compuesta. Excepto para

concretos que contienen un tamaño máximo nominal de agregado mayor a 3 pulgadas (75 mm).

- Registrar la temperatura con una precisión de 1 grado Fahrenheit (0,5 grados Celsius).
- Reporte: registrar la temperatura del concreto recién mezclado con una precisión de 1 grado Fahrenheit (0,5 grados Celsius).
- Consideraciones generales: cinco minutos para realizar el ensayo y mínimo dos minutos para que la lectura se estabilice. En el caso de concreto con agregados mayores a 75 milímetros, se podrá requerir de hasta 20 minutos.

2.4.3. Norma ASTM C138/C138M-13a. Determinación de la densidad (peso unitario), volumen producido y contenido de aire del concreto por el método gravimétrico; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017h5

Esta norma consiste en determinar el volumen del concreto producido, con el fin de verificar la correcta dosificación y rendimiento de los materiales. Es una base para determinar el rendimiento de la mezcla, el contenido de cemento, así como el contenido de aire.

El peso unitario del concreto fresco permite formar un criterio inmediato de la calidad de la composición granulométrica y de la compactación del concreto, siendo un importante medio de control del concreto.

- Equipo
 - Balanza: con una exactitud de 0,1 libras (45 gramos) o dentro del 0,3 % de la carga de prueba.
 - Varilla: de acero con un diámetro de 5/8 de pulgadas (16 mm) y con una longitud de 20 pulgadas (500 mm), con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro.
 - Vibrador interior: los vibradores interiores pueden ser rígidos o flexibles, preferentemente impulsados por motores eléctricos. La frecuencia de vibración debe ser de 7 000 vibraciones por minuto o más, mientras se usa. El diámetro externo o la dimensión lateral del elemento vibrante será por lo menos 0,75 pulgadas (19 mm) y no mayor de 1,50 pulgadas (38 mm). La longitud del elemento será por lo menos de 24 pulgadas (600 mm).
 - Recipiente: debe ser cilíndrico, de acero u otro metal. La capacidad mínima del recipiente se determinará de acuerdo al tamaño nominal máximo del agregado, especificado en la tabla IV. Todas las medidas, excepto las medidas de los recipientes, medidores de aire, los cuales son utilizados en los ensayos ASTM C138, deben estar de conformidad con los requerimientos del método de ensayo ASTM C29. Cuando las mediciones de los recipientes u medidores de aire son utilizados, estas deben cumplir con los requerimientos del método de prueba ASTM C231.
 - Placa para enrasado: una placa rectangular llana de metal, de por lo menos ¼ de pulgada (6 mm) de espesor o una placa de acrílico

de espesor de por lo menos $\frac{1}{2}$ pulgadas (12 mm), con una longitud y anchura de por lo menos 2 pulgadas (50 mm) más que el diámetro del recipiente. Los bordes de la placa serán rectos y lisos dentro de una tolerancia de $\frac{1}{16}$ pulgadas (2 mm).

- Mazo de goma: con una masa de $1,25 \pm 0,50$ libras (600 ± 200 gramos) para el uso con los moldes de 0,5 pies cúbicos (14 litros) o más pequeños, y un mazo con una masa de $2,25 \pm 0,50$ libras (1000 ± 200 gramos) para usar con los moldes más grandes que 0,5 pies cúbicos.

- Muestra

Se obtiene la muestra de concreto fresco de acuerdo con la Norma ASTM C172.

Tabla IV. **Capacidad de recipiente para ensayo de peso unitario**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente	
pulg.	mm	ft ³	L
1	25,0	0,2	6
1 $\frac{1}{2}$	37,5	0,4	11
3	50	0,5	14
3	75	1,0	28
4 $\frac{1}{2}$	112	2,5	70
6	150	3,5	100

Fuente: elaboración propia, basada en la Norma ASTM C 138.

- Procedimiento
 - Establecida la selección del método de consolidación del concreto en el ensayo de revenimiento, a menos que el ensayo tenga especificaciones bajo las cuales se debe realizar, el método de consolidación puede ser de varillado y de vibración interna. Varillar o vibrar concreto con un revenimiento de 1 a 3 pulgadas (25 mm a 75 mm). Consolidar concretos con un revenimiento menor a 1 pulgada (25 mm) por vibración. Determinar la masa del recipiente de medición vacío.
 - Colocar el concreto dentro del recipiente, en tres capas de aproximadamente igual volumen (compactación por varillado).
 - Compactar cada capa penetrando 25 veces con la varilla en recipientes de 0,5 pies cúbicos (14 litros) o menores y 50 veces para recipientes de 1 pie cúbico (28 litros).
 - Golpear firmemente de 10 a 15 veces los lados del recipiente con el mazo, cada una de las tres capas, para eliminar burbujas de aire y llenar vacíos.
 - Después de la consolidación se remueve el exceso de concreto de la superficie superior y se debe dar un acabado, suavemente, con la placa plana de enrasado, teniendo cuidado de dejar el recipiente adecuadamente lleno y nivelado.

- Después de enrasar, se debe limpiar todo el concreto del exterior del recipiente y determinar la masa del concreto del recipiente lleno.
- Calcular la masa neta (kilogramos o libras).
- Calcular la densidad del concreto (kilogramo/metro cúbico o libra/pie cúbico).

2.4.4. Norma ASTM C231/C231M. Determinación del contenido de aire del concreto fresco, por el método de presión; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017h7

El objeto de este ensayo es determinar el contenido de aire atrapado en una mezcla fresca, con cualquier tipo de agregado. El control del contenido de aire en el concreto fresco es esencial para mantener la calidad deseada. El aire presente en los vacíos de la pasta de un concreto puede tener su origen en las siguientes causas:

- Aire originalmente presente en los espacios de cemento y agregados pero después depositados en la pasta antes de endurecer.
- Aire originalmente presente en los espacios intergranulares del cemento y agregados.
- Aire originalmente disuelto en el agua de la mezcla.

- Aire incorporado en el concreto durante los procesos de mezcla y colocación.

Es aplicable para concretos con agregados relativamente densos y que requieran la determinación del factor de corrección del agregado.

- Equipo
 - Medidor de aire: existen aparatos satisfactorios, de dos diseños básicos de operación, que trabajan con el principio de la ley de Boyle. Se hará referencia de medidores de tipo A y B.
 - Medidor tipo A: la principal operación de este medidor de aire consiste en introducir agua hasta una determinada altura por encima de la muestra de concreto de volumen conocido y la aplicación de una determinada presión de aire sobre el agua. La determinación consiste en la reducción en el volumen del aire en la muestra de concreto, por la observación del nivel de agua más bajo.
 - Medidor tipo B: la operación principal de este medidor consiste en igualar el volumen de aire y la presión conocida en una cámara con el volumen desconocido de aire de la muestra de concreto. Un medidor de aire que consiste en un recipiente de forma cilíndrica y una sección superior que lo cubre. El recipiente debe ser de metal u otro material no reactivo al cemento, debe tener un diámetro de 0,75 a 1,25 veces la altura y una capacidad por lo menos de 5,7 litros. La forma en que trabaja este medidor consiste en igualar un

volumen conocido de aire a una presión conocida en una cámara de aire hermética con el volumen de aire desconocido de la muestra de hormigón. La aguja en el medidor de presión se calibra en términos de porcentajes de aire de presión, en la cual se igualan ambas presiones.

- Varilla: de acero con un diámetro de 5/8 de pulgadas (16 mm) y con una longitud de 20 pulgadas (500 mm), con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro.
- Placa para enrasado: una placa rectangular llana de metal, de por lo menos ¼ de pulgada (6 mm) de espesor o una placa de acrílico de espesor de por lo menos ½ pulgadas (12 mm), con una longitud y anchura de por lo menos 2 pulgadas (50 mm).
- Mazo de goma: con una masa de 1,25 ±0,50 libras (600 ± 200 gramos) para el uso con los moldes de 0,5 pies cúbicos (14 litros) o más pequeños, y un mazo con una masa de 2,25 ± 0,50 libras.
- Muestra: se obtendrá conforme al procedimiento indicado en la Norma ASTM C 172.
- Procedimiento
 - Seleccionar una muestra representativa.
 - Humedecer el interior del tazón y colocarlo en una superficie plana nivelada y firme.

- Llenar el recipiente con tres capas de igual volumen, sobrellenando ligeramente la última capa.
- Compactar cada capa con 25 penetraciones de la punta semiesférica de la varilla, distribuyendo uniformemente las penetraciones en toda la sección.
- Compactar la capa inferior en todo su espesor, sin impactar en el fondo del recipiente con la varilla.
- Compactar la segunda y tercera capa, penetrando 1 pulgada (25 mm) de la capa anterior.
- Golpear firmemente los lados del tazón de 10 a 15 veces con el mazo, después de compactar cada capa. Para evitar que las burbujas de aire queden atrapadas en el interior de la muestra.
- Enrasar el concreto utilizando la regla enrasadora apoyada sobre el borde superior del molde; y luego limpiar el exceso de muestra del borde del recipiente.
- Limpiar y humedecer el interior de la cubierta antes de acoplarla con las mordazas a la base; las mordazas se sujetan dos a la vez y en cruz.
- Abrir ambas llaves de purga.
- Cerrar la válvula principal de aire entre la cámara y el tazón y abrir ambas llaves de purga a través de la cubierta.

- Inyectar agua a través de una de las llaves de purga hasta que se salga por la otra.
- Continuar inyectando agua por la llave de purga, mover y golpear el medidor para asegurar que todo el aire es expulsado.
- Cerrar la válvula de escape de aire y bombear aire dentro de la cámara hasta que el manómetro esté en la línea de presión inicial.
- Esperar unos segundos para que el aire comprimido llegue a una temperatura normal y se estabilice la lectura de presión.
- Ajustar el manómetro en la línea de presión inicial por bombeo o dejar escapar aire si es necesario, dando ligeros golpes con la mano.
- Cerrar ambas llaves de purga.
- Abrir la válvula principal entre la cámara de aire y el tazón.
- Dar pequeños golpes en los lados del tazón con el mazo.
- Leer el porcentaje de aire, golpeando con la mano ligeramente el manómetro para estabilizar la lectura.
- Cerrar la válvula de aire principal y abrir las llaves de purga para descargar la presión, antes de remover la cubierta.
- Calcular correctamente el contenido de aire.

Reportar el contenido de aire con una aproximación de 0,1 por ciento.

2.4.5. Norma ASTM C143/C143M-12. Determinación del asentamiento en el concreto fresco; equivalente a la norma Coguanor NTG-41052

El método de determinación empleado es el ensayo del cono de Abrams o Slump que define la consistencia de la mezcla por el asentamiento, medido en pulgadas o centímetros, de una masa de concreto que previamente ha sido colocada y compactada en un molde metálico de dimensiones definidas y sección tronco cónica.

Es una prueba sencilla que se usa tanto en el campo como en el laboratorio. Se puede clasificar al concreto de acuerdo con su consistencia en tres grupos:

- Concretos consistentes o secos, con asentamiento de 0 o a 2 pulgadas (0 a 5 cm).
- Concretos plásticos, con asentamientos de 3 a 4 pulgadas (7,5 a 10 cm).
- Concretos fluidos, con asentamientos con más de 5 pulgadas (12.5 cm).

El método cubre la determinación del asentamiento del concreto tanto en el laboratorio como en el campo. Consiste en colocar una muestra de concreto recién mezclado (se compacta por varillado) dentro de un molde en forma de cono truncado. El molde se levanta, y se deja que el concreto se desplome. Se mide la distancia vertical al centro desplazado y se registra el valor del asentamiento del concreto.

Este ensayo es aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37,5 milímetros (1½ pulgadas) de tamaño máximo nominal. Si el agregado grueso es mayor de 37,5 milímetros, el método de prueba se aplica a la fracción de concreto que pasa la malla de 37,5 milímetros (1½ pulgadas) de acuerdo con ASTM C172.

- Equipo
 - Molde: de metal, resistente al ataque de la pasta de cemento, con un espesor no menor que 0,060 pulgadas (1.5 mm), y si se forma con el proceso de repujado, en ningún punto del molde el espesor será menor de 0,045 pulgadas (1,5 mm) de grosor. El molde deberá tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado con una base de 8 pulgadas (200 milímetros) de diámetro y la parte superior de 4 pulgadas (100 milímetros) de diámetro, con una altura de 12 pulgadas (300 milímetros). Las dimensiones del diámetro y altura deberán tener una tolerancia de $\pm 1/8$ pulgadas (3 milímetros) respecto de las dimensiones especificadas. El interior del molde deberá ser relativamente liso y libre de cualquier protuberancia.
 - Varilla: de acero con un diámetro de 5/8 de pulgadas (16 mm) y con una longitud de 24 pulgadas (600 mm), con al menos un extremo redondeado en forma de semiesfera del mismo diámetro.
 - Instrumento de medida: regla de metal rígida, la cual está graduada con incrementos de 0,25 pulgadas (5 mm) o menor. El largo de la regla debe ser de por lo menos de 12 pulgadas (200 mm).

- Muestra: la obtención de la muestra se realizará de conformidad con la Norma ASTM C172.
- Procedimiento
 - Humedecer el molde y el piso o placa base; ejecutar sobre una superficie rígida no absorbente.
 - Apoyar firmemente el molde sobre la base colocando y presionando con los dos pies los estribos del molde. Por ningún motivo deben moverse los pies durante el llenado del molde.
 - Llenar el molde en tres capas de igual volumen, la primera capa a profundidad de 70 milímetros. (2 ⁵/₈ pulgadas) la segunda hasta de 160 milímetros (6 ¹/₈ pulgadas) y la tercera hasta el borde superior del molde.
 - Compactar cada capa en toda su profundidad con 25 penetraciones de la varilla, distribuyendo las penetraciones en toda la superficie de cada capa.
 - Compactar la segunda y tercera capa penetrando la capa anterior 25 milímetros (1 pulgada) y varillar desde cerca del perímetro y continuar progresivamente en forma espiral hacia el centro del molde.
 - Cuando se compacte la última capa, mantener un excedente de concreto sobre el molde antes de comenzar el varillado; si el concreto es insuficiente detener el varillado y colocar una cantidad

representativa para mantener un exceso de concreto sobre el molde todo el tiempo.

- Enrasar el concreto rodando la varilla de compactación sobre el borde superior del molde.
- Continuar manteniendo el molde firme y remover el concreto alrededor del área circundante de la base del molde, para prevenir la interferencia en el momento del asentamiento del concreto.
- Levantar el molde por encima de las 12 pulgadas (300 mm) de un solo movimiento sin giros. En un tiempo de 5 ± 2 segundos.
- Medir con una precisión de $\frac{1}{4}$ pulgadas (5 mm) el revenimiento, desde la parte superior del molde hasta el centro desplazado de la superficie original del espécimen. Si al levantar el cono se produce una falla por corte, es necesario descartar la prueba y realizar el ensayo con una nueva porción de mezcla; si la falla se repite, es posible que el concreto no tenga la plasticidad necesaria o sea cohesivo para aplicar este ensayo.
- Ejecute la prueba, desde su inicio hasta el final sin interrupciones en no más de 2,5 minutos.

Para el reporte anotar el asentamiento en pulgadas (milímetros) con una aproximación de 5 milímetros ($\frac{1}{4}$ pulgadas).

2.4.6. Norma ASTM C39/C39M - 12a. Determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41017

Esta norma cubre la determinación del esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos, sean estos moldeados, o núcleos obtenidos por extracción. El esfuerzo a la compresión del espécimen es calculado dividiendo la máxima carga obtenida durante el ensayo por el área de la cara axial del espécimen. Los resultados a la compresión obtenidos pueden depender de forma y tamaño del espécimen, la pasta del cemento, los procedimientos de mezcla, los métodos de muestreo, fabricación, edad y las condiciones de humedad durante el curado.

- Equipo
 - Máquina de ensayo: deberá tener la suficiente capacidad para abastecer el índice de cargas solicitadas. La calibración de la máquina se debe verificar de acuerdo con la Norma ASTM E4 y en las siguientes condiciones:
 - Se debe calibrar la máquina, por lo menos cada 13 meses.
 - En la instalación original o si es movida de su lugar original.
 - Si se tiene duda de su precisión o exactitud.

La máquina deberá ser operada con energía y ser capaz de aplicar una carga continua durante todo el proceso de ensayo. El porcentaje de error permitido para máquinas de ensayo no debe exceder el $\pm 1,0$ por ciento de la carga indicada.

- Equipo adicional: está compuesto de los siguientes materiales:
 - Escuadras metálicas: deben ser como mínimo de 30 centímetros de longitud, para chequear la perpendicularidad.
 - Equipo de láminas graduadas: está provisto de láminas de espesor determinado que sirven para chequear la planeidad y las depresiones en las caras del espécimen de concreto.
 - Fluxómetro: dispositivo para medir deflexiones.
 - Tornillo micrométrico: se utiliza para medir el diámetro del cilindro, con una aproximación de 0,25 milímetros (0,01 pulgadas).

- Muestra: las probetas cilíndricas de concreto deberán cumplir con lo siguiente:
 - Medir dos diámetros en ángulo recto en la parte media de la altura del espécimen, con una aproximación de 0,25 milímetros (0,01 pulgadas). Nota: si un diámetro difiere del otro en más del 2 por ciento los especímenes no serán probados.

 - Chequear que el eje axial de perpendicularidad y los extremos planos del espécimen, no se alejen más de 0,5 grados (1 milímetro en 100 milímetros).

 - Los especímenes que no tengan sus extremos planos dentro de 0,05 milímetros (0,002 pulgadas) se pulirán, esmerilarán o capearán, según la Norma ASTM C617 o ASTM C1231.

- La longitud debe ser medida con precisión de 1 milímetro, en tres lugares espaciados alrededor de la circunferencia. Cuando la determinación de la densidad no es requerida y cuando la relación de la longitud con el radio es menor que 1,8 o mayor que 2,2, se debe medir la longitud del espécimen con una precisión de 0,05D.
- Procedimiento
 - Empezar el ensayo tan pronto como el espécimen ha sido retirado de la cámara de curado y conservar sus condiciones de humedad.

Tabla V. **Tolerancia permisible de tiempo de ensayo**

Edad	Tolerancia permisible de tiempo de ensayo
24 horas	± 0,5 h o 2,1 %
3 días	2 h o 2,8 %
7 días	6 h o 3,6 %
28 días	20 h o 3,0 %
90 días	2 días o 2,2 %

Fuente: elaboración propia, con base en la Norma ASTM C 39.

- Limpiar la superficie de los soportes superior e inferior de la prensa.
- Colocar el espécimen en el bloque de soporte inferior.
- Alinear los ejes del espécimen con el centro de bloque de empuje superior (soporte con cabeza movable).

- Verificar que el indicador de carga se encuentre en cero.
- Mover el bloque de soporte inferior lentamente para poner el espécimen en contacto con los platos de compresión de la prensa.
- Aplicar carga continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de $0,25 \pm 0,05$ megapascal/segundo (35 ± 7 libra/pulgada cuadrada/segundo). Para máquinas de tornillo la proporción de carga dependerá del tamaño del espécimen de prueba, módulo de elasticidad del concreto y de la dureza de la máquina de comprobación.
- Durante el ensayo ajustar la válvula de inyección de aceite suavemente, con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga durante la última mitad de la fase de carga.
- Aplicar la carga hasta que el espécimen falle.
- Registrar la máxima carga soportada por el espécimen. Para máquinas con indicadores de carga automáticos, no detener la aplicación de la carga hasta que disminuya más del 95 por ciento de la máxima carga.
- Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto.
- Calcular el esfuerzo de compresión con una aproximación de $0,1$ megapascal (10 libra/pulgada cuadrada).

- Si la relación L/D es 1,75 o menor, el valor calculado de esfuerzo se debe multiplicar por el factor de corrección, determinado en la tabla IV.
- Anotar los datos. Nota: el promedio de la resistencia de cilindros en condiciones de campo de la misma muestra no debe variar en más de 8 por ciento para dos resultados y en más de 9,5 por ciento para tres resultados.

Tabla VI. **Factor de corrección según la relación L/D**

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Fuente: elaboración propia, con base en la Norma ASTM C 39.

- Cálculos:
 - Calcular la resistencia a la compresión:

$$R = \frac{P}{A}$$

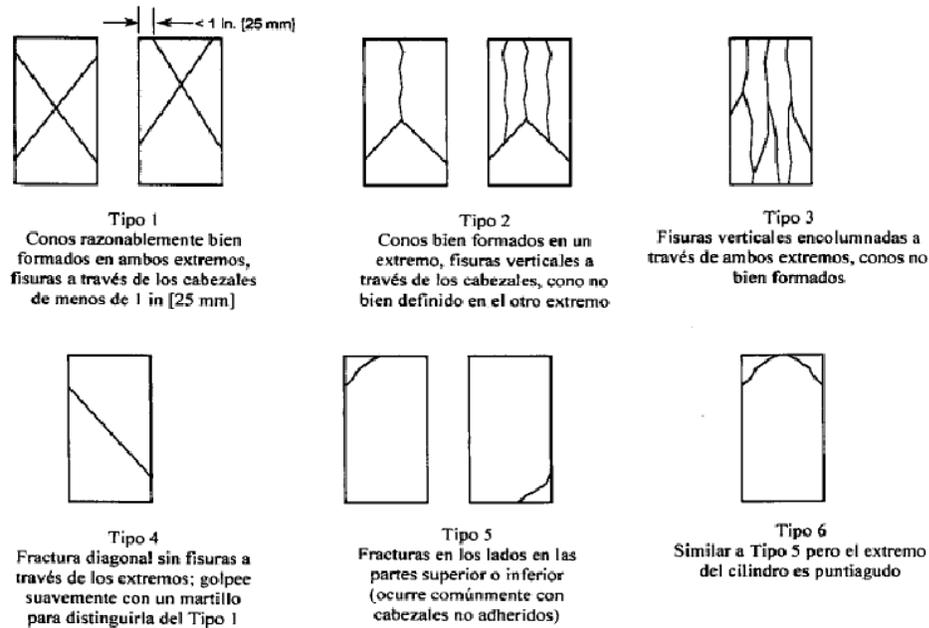
Donde:

R = esfuerzo a la compresión del espécimen (megapascal)

P = máxima carga aplicada (kilonewton)

A = área de la cara axial del espécimen (milímetros cuadrados)

Figura 5. Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura



Fuente: Norma Coganor NTG 41017h1. p. 12.

Evaluación de resultados de las pruebas de resistencia:

Los análisis estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia y la información derivada de estos procedimientos también sirve para reafirmar criterios y especificaciones que se mencionan en los códigos o normas. Es por eso que a continuación se dará una breve explicación de los parámetros estadísticos que se utilizaron.

La desviación estándar es el valor medio cuadrático de las variaciones obtenidas en un grupo de pruebas; este valor puede ser negativo o positivo y marca los límites máximos y mínimos en las resistencias obtenidas.

El coeficiente de variación es la relación entre la desviación estándar y el promedio aritmético del conjunto de resistencias consideradas. Este valor es el que indica en forma precisa la calidad en el control desarrollado durante la etapa de realización de las mezclas de concreto.

Estos dos parámetros son referenciados por el Instituto Americano del Concreto, en el código ACI 214R-11, que se refiere a la práctica recomendada para evaluar los resultados de la resistencia de concreto.

Tabla VII. **Valores de coeficiente de variación y grado de uniformidad que puede esperarse en el concreto**

V (%)	Uniformidad del concreto	Condiciones frecuentes en que se obtienen
0 - 5	Excelente	Condiciones de laboratorio
5 - 10	Muy bueno	Preciso control de materiales y dosificación por masada.
10 - 15	Bueno	Buen control de materiales y dosificación por masada.
15 - 20	Mediano	Algún control de materiales y dosificación por masada.
20 - 25	Malo	Algún control de materiales y dosificación por volumen.
> 25	Muy malo	Ningún control de materiales y dosificación por volumen.

Fuente: elaboración propia, con base en el código ACI 214R-11.

2.4.7. Norma ASTM C-617/C617M-12. Práctica de cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto; equivalente a la norma Coguanor NTG-41064

En un ensayo a compresión, se requiere producir un esfuerzo constante en la sección transversal del espécimen; para lograrlo, es necesario que tanto las caras de los bloques de carga de la máquina de ensayo y las caras del espécimen sean planas y paralelas. Si las caras no son lo suficientemente planas, se genera una concentración de esfuerzos en la superficie de las caras extremas y se obtiene un esfuerzo de falla inferior.

En caso de que los especímenes no cumplan con la planicidad establecida en la Norma ASTM C 39, se utilizarán los procedimientos de cabeceo, según Norma ASTM C 617.

Esta práctica cubre el equipo, materiales y procedimientos para cabecear los cilindros moldeados de concreto fresco con pasta de cemento y los cilindros de concreto endurecidos y núcleos perforados con una pasta de yeso de alta resistencia o con un mortero de azufre.

- Equipo para el cabeceado
 - Platos para el cabeceo: los cabeceos de pasta de cemento y de pasta de yeso de alta resistencia, deben ser elaborados contra un plato de vidrio de al menos 6 milímetros (1/4 pulgadas) de espesor, un plato de metal maquinado de al menos 11 milímetros (0,45 pulgadas) de espesor, o un plato pulido de granito o diabasa de al menos 75 milímetros (3 pulgadas) de espesor; los cabeceos de mortero de azufre se deben elaborar contra platos similares de

metal o piedra, excepto que el área de la presión que recibe el azufre fundido no sea más profunda que 12 milímetros (1/2 pulgadas). En todos los casos, los platos deben ser de al menos 25 milímetros (1 pulgada) más grandes en diámetro que de los especímenes de ensayo y las superficies de trabajo no se deben desviar del plano por más de 0,05 milímetros (0,002 pulgadas) en 150 milímetros (6 pulgadas). La superficie, cuando está nueva, debe estar libre de agujeros, surcos y hendiduras más allá de aquellas causadas por la operación de acabado. Los platos metálicos que han estado en uso deben estar libres de agujeros, surcos y hendiduras más profundas que 0,25 milímetros (0,010 pulgadas) o con área superficial mayor a 32 milímetros cuadrados.

- Dispositivos de alineación: barras, guías o niveles, se usan generalmente en conjunto con platos para cabeceo, para asegurar que ningún cabeceo desvíe su perpendicularidad con el eje del espécimen cilíndrico por más de 0,5 grados (aproximadamente equivalente a 3,2 milímetros en 305 milímetros). Se aplica el mismo requisito a la relación entre ejes del dispositivo de alineación y la superficie del plato, para coronar cuando se utilizan barras guías. Además, la ubicación de cada barra respecto de su plato debe ser tal, que ninguna capa esté descentrada con el espécimen de ensayo por más de 2 milímetros (1/16 pulgadas).
- Recipiente de fundición de morteros de azufre: los recipientes utilizados para derretir los morteros de azufre deben estar equipados con controles automáticos de temperatura y deben estar hechos de metal o cubiertos con un material que no reaccione con azufre fundido.

- Equipo adicional
 - Escuadras metálicas: deben ser como mínimo de 30 centímetros de longitud, para chequear la perpendicularidad.
 - Equipo de láminas graduadas: debe estar provisto de láminas de un espesor determinado, que sirven para chequear la planeada y las depresiones en las caras del espécimen de concreto.

- Muestra:
 - Condiciones del espécimen: si se coloca una escuadra perpendicular al eje del espécimen en la superficie que será cabeceada, la distancia de cualquier punto con respecto al punto más alto de la cara del espécimen no debe exceder en más de 3 milímetros (1/8 pulgadas) en la vertical. Si la superficie excede este límite el espécimen deberá ser cortado, pulido o esmerilado previo al cabeceado.
 - Mortero de azufre: preparados por el laboratorio o patentados, se permiten si se dejan endurecer un mínimo de 2 horas antes de ensayar concreto con resistencia menos de 35 megapascuales (5 000 libra/pulgada cuadrada). Para resistencias de concreto iguales o mayores de 35 megapascuales (5 000 libra/pulgada cuadrada), se debe dejar endurecer al menos 16 horas antes de ensayar.

- Procedimiento
 - Preparar el mortero de azufre por calentamiento a 130 grados Celsius (265 grados Fahrenheit) aproximadamente. Chequear la temperatura del mortero de azufre cada hora. Se debe vaciar el recipiente y volverlo a llenar con material fresco, a intervalos, para asegurar que el material anterior en el recipiente no se haya utilizado más de cinco veces. Cuando se cabecean cilindros de concreto con resistencias mayores a 35 megapascales (5 000 libra/pulgada cuadrada) no se permite reutilizar un compuesto de material recuperado de operaciones para cabecear o de cabeceado antiguos.
 - Comprobar que el plato de cabeceo se encuentre caliente.
 - Verificar que el plato de cabeceo se encuentre limpio y libre de rugosidades.
 - Aceitar ligeramente el plato de cabeceo.
 - Verificar que la cara del espécimen esté libre de grasas, aceites y que no contenga exceso de humedad.
 - Formar la capa de cabeceo en el cilindro. Se deben reemplazar las capas que posean espacios mayores a 6 milímetros (1/4 pulgadas).
 - Chequear que la capa quede correctamente pegada al espécimen y no contenga espacios vacíos. Para el chequeo se puede utilizar

una moneda, para golpear la cara del espécimen que ha sido cabeceada, en caso de producirse un sonido hueco, la capa deberá ser reemplazada.

- Verificar las condiciones de planeidad de la capa de azufre.
- Proteger el espécimen cabeceado de la rápida evaporación, y las pérdidas de humedad.

3. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL

3.1. Caracterización de materiales utilizados

A continuación se presentan las características de los materiales utilizados en las mezclas de evaluación; cabe indicar que las características tanto físicas como mecánicas de los materiales utilizados para este trabajo de graduación fueron cedidos por el laboratorio de control de calidad de la empresa Preesforzados y Construcciones (Precon). Las características químicas, físicas, mecánicas y geográficas de la adición mineral 1R 1.5 fueron definidas anteriormente en el Proyecto Fodecyt No. 023-2010: *“Determinación y evaluación experimental del índice de reactividad puzolánica de diez bancos de materiales de la franja volcánica de Guatemala para la industria del cemento”*.

La metodología aplicada a las mezclas de evaluación fue la expuesta en la sección anterior basada en las normas internacionales, ASTM y normas nacionales, Coguanor. También se describen los distintos tipos de mezclas, así como el equipo utilizado durante la evaluación experimental del trabajo de graduación y los resultados obtenidos.

3.1.1. Cemento CFB

Cemento puzolánico para fabricantes CFB, de la empresa Cementos Progreso, cuya composición química y física se muestra en la siguiente tabla de acuerdo con la Norma ASTM C 1157, que es esencialmente equivalente a la Norma Coguanor NTG 41095.

Tabla VIII. **Composición química y física del cemento CFB**

Variable	Límite espec.	Resultados del test	
		Promedio	Desv. estándar
Óxido de silicio (SiO ₂) %	N/A		
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) %	N/A		
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃) %	N/A		
Óxido de calcio (CaO) %	N/A		
Óxido de magnesio (MgO) %	N/A	4,3700	0,0600
Pérdida de fuego (PF) %	3,95 max.	3,7000	0,2300
Otros elementos			
Trióxido de azufre (SO ₃) %	N/A	2,9100	0,0800
Óxido de potasio (K ₂ O) %	N/A		
Óxido de sodio (Na ₂ O) %	N/A		
Residuo Insoluble (RI) %	13,2 max.	10,8000	0,2100

REQUERIMIENTOS FÍSICOS

Variable	Límite espec.	Resultados del Test	
		Promedio	Desv. estándar
Fineza 45 um (retenido) %	94,1 min.	96,34	0,1800
Expansión en autoclave %	0,80 max.	0,05	0,0400
Contracción en autoclave %	0,20 max.		
Contenido de aire (volumen) %	12 max.		
Resistencia a la compresión (psi)			
1 día	2 400 min.	3 004	85,7300
3 días	3 800 min.	4 171,83	62,4500
7 días	N/A	5 018,2	150,4900
28 días	N/A	6 023	80,8900
Tiempo de fraguado			
Vicat Inicial (minutos)	45 min. - 420 max.	162,0000	11,5100
Expansión de mortero en barras %	0,020 max.		
Blaine (cm ² /g)	3 900 min.	4 183,8	163,5900

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Agregado grueso

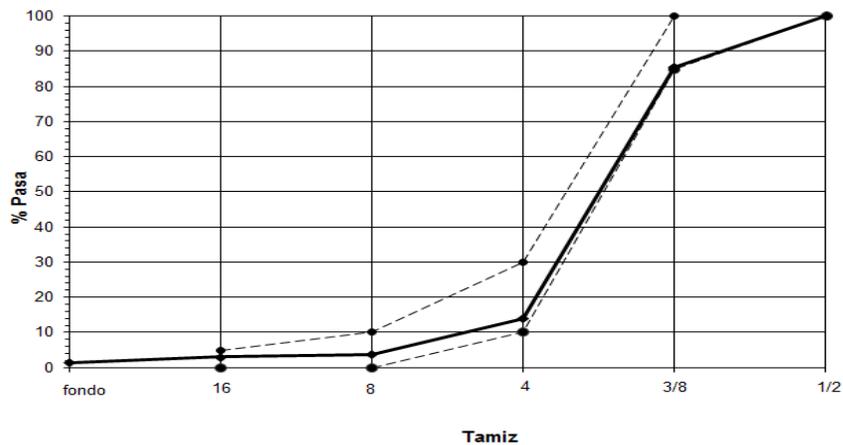
Agregado grueso de 3/8 de pulgada procedente de la planta Palín Oeste (PPO) de la empresa Agreca, de origen basáltico, cuyas características físicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Características físicas agregado de 3/8 de pulgada**

Características físicas	
Peso específico (g/cm ³)	2,6
Peso unitario suelto (kg/cm ³)	1 496,86
Peso unitario compactado (kg/cm ³)	1 578,86
Porcentaje de absorción	0,88 %
Porcentaje de abrasión	18,49 %
Porcentaje de humedad	0,36 %
Módulo de finura	5,94

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Curva granulométrica número 8, según límites ASTM C33 agregado de 3/8 de pulgada**



Fuente: elaboración propia, análisis físico de agregado, Preesforzados y Construcciones S. A.

3.1.3. Agregado fino

Se utilizó una mezcla de agregados finos siendo estos, arena lavada y arena triturada 0-1/4 de pulgada.

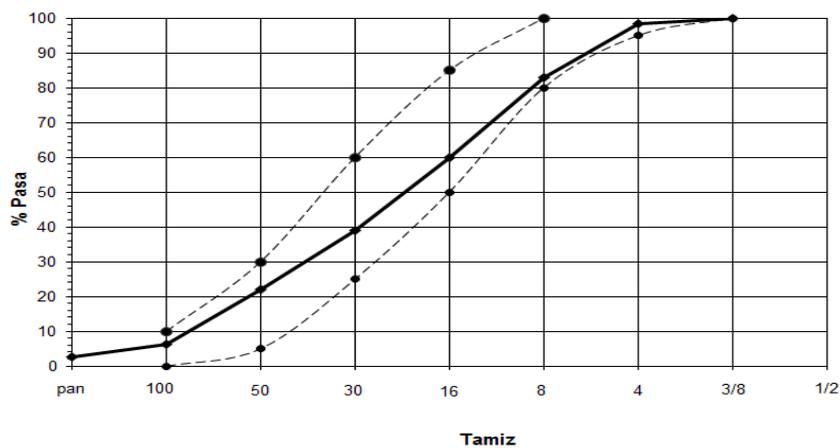
El material es procedente de la planta Palín Oeste (PPO) de la empresa Agreca, de origen basáltico, cuyas características físicas se muestran en la siguiente tabla.

Tabla X. **Características físicas agregado fino**

Características físicas	
Peso específico (g/cm ³)	2,59
Peso unitario suelto (kg/cm ³)	1 324,3
Peso unitario compactado (kg/cm ³)	1 470,48
Porcentaje de absorción	0,49 %
Contenido de materia orgánica	0
Pasa tamiz 200	2,66%
Porcentaje de humedad	1,00 %
Módulo de finura	2,92

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Curva granulométrica según límites ASTM C33 agregado fino**



Fuente: elaboración propia, análisis físico de agregado, Preesforzados y Construcciones S. A.

3.1.4. Aditivo reductor de agua de alto alcance

Aditivo Megaflow-50 tipo F de la empresa International Materials Industries (IMI) es un compuesto líquido de color café, que contiene características que ayudan al crecimiento de la resistencia del concreto a edades tempranas, reduce la cantidad de agua utilizada en la mezcla y aumenta la plasticidad del concreto. Se recomienda una dosificación de 6 a 20 mililitros por 1 kilogramo de cemento. En la siguiente tabla se muestran los límites de control de calidad en la fabricación de Megaflow.

Tabla XI. **Control de calidad en la fabricación de aditivo**

Parámetros	Resultados de pruebas	Especificaciones
Gravedad específica (g/cm ³)	1,21	1,190 - 1,210
Contenido de sólidos (mg/l)	42,1	40,3 % - 42,1 %
Contenido de cloruro (mg/l)	City Water	< 500 ppm
ph	8,92	7,0 - 10
Color	Café Oscuro	

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Puzolana natural de origen volcánico

Toda la información física y geográfica de la muestra utilizada para este trabajo, es una recopilación de la información presentada en el proyecto Fodecyt No. 023-2010: *“Determinación y evaluación experimental del índice de reactividad puzolánica de diez bancos de materiales de la franja volcánica de Guatemala para la industria del cemento”*.

3.1.6. Características geográficas

Las características geográficas de la adición mineral 1R 1,5, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla XII. **Características geográficas adición mineral 1R 1,5**

Nombre del banco:	El Rancho
Lugar:	Km. 84, carretera CA-9
ID de muestra:	1R 1,5
Coordenadas:	Latitud 14°54'23,7 pulgadas N Longitud 90°01'12,6 pulgadas O
Altura:	350 msnm
Departamento:	El Progreso

Fuente: elaboración propia.

3.1.7. Características físicas

La adición mineral 1R 1,5 cuenta con las siguientes características físicas:

3.1.7.1. Granulometría de la adición mineral

Se pueden observar en la siguiente tabla, los datos obtenidos por el análisis granulométrico que se realizó a la muestra; la granulometría es importante para determinar la distribución de los tamaños que posee el material.

Tabla XIII. **Granulometría adición mineral**

Muestra	1R 1,5
% humedad	12,1
% pasa tamiz 1/4"	99,2
% pasa tamiz Núm. 30	93,00
% pasa tamiz Núm. 200	38,2
% pasa tamiz Núm. 325 (3 h)	99,4

Fuente: elaboración propia

En el proyecto Fodecyt 023-2010 *“Determinación y evaluación experimental del índice de reactividad puzolánica de diez bancos de materiales de la franja volcánica de Guatemala para la industria del cemento”*, se menciona que el material es un buen retenedor de humedad, pero que esta característica no es determinante para la reactividad de los materiales.

3.1.7.2. Características físicas naturales

Son las características que forman parte de la descripción de un material, como color, textura, fineza, y que pueden influir en la resistencia de alguna manera. Las características físicas naturales de la adición mineral 1R 1,5 se muestran en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Características físicas adición mineral**

Densidad (g/cm³)	2,376
S.E finura Blaine (cm²/g)	4 274
Porcentaje FS	12,90
Pérdida de ignición	2,60
Color	Rosado
Tipo de roca	Ceniza

Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos satisfacen a los parámetros adoptados en el proyecto Fodecyt 023-2010, la adición mineral 1R 1,5 presenta una densidad de 2,376 g/cm³ la cual está dentro del rango de 2,36 a 2,83 g/cm³; para la finura Blaine a medida que los granos son más pequeños, el material adquiere una mayor reactividad; la muestra presenta una fineza aceptable dentro del rango 3 200 y 5 500 cm²/g.

Una de las características que influyen en el aumento de la resistencia es la pérdida por ignición, ya que esta determina el contenido orgánico en la muestra, mientras la muestra presente un contenido menor de impurezas orgánicas, mayor será la cantidad de material reactivo. La muestra presenta una pérdida del 2,60 %, aceptable para el valor máximo de 5,2 %.

3.2. Metodología de trabajo

A continuación se describe la metodología seguida para la elaboración de este trabajo de graduación, procedimientos basados a las Normativas ASTM y sus equivalentes en la norma nacional Coguanor. Se ilustra mediante fotografías el proceso de la parte experimental del trabajo.

3.2.1. Obtención de la adición 1R 1,5

Se obtuvo la adición, 1R 1,5, con base en los resultados del proyecto de investigación Fodecyt No. 023-10 *“Determinación y evaluación experimental del índice de reactividad puzolánica de diez muestras de la franja volcánica de Guatemala”*.

3.2.2. Preparación de la adición 1R 1,5

Se procesó la adición, 1R 1,5 de acuerdo con el procedimiento indicado en el trabajo de graduación *“Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala”*, por el ingeniero Víctor Rafael Rosales Rivas, para la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el 2012.

3.2.3. Diseño de mezcla

En la siguiente tabla se muestra el diseño de mezcla que se utilizó para la evaluación experimental y que sirvió como base y control para realizar las mezclas de prueba con diferentes porcentajes de adición mineral 1R 1,5. Los materiales utilizados fueron detallados anteriormente; en el anexo se hace referencia a los certificados de calidad de cada uno de los materiales. Cabe mencionar que el diseño de mezcla fue proporcionado por el ingeniero civil Sergio Vinicio Quiñonez, jefe de colocación de concreto en Consultoría y Construcciones S. A. (Consulta).

Tabla XV. **Dosificación de mezcla control**

Desarrollo para 1.00 m³	
Resistencia	350 kg/cm ² (35 Mpa)
Relación a/c	0,45
Material	Peso
Cemento	430 kg
Agregado fino	945 kg
Agregado grueso	924 kg
Agua	193,5
% aire aprox	2%
Aditivo fluidificante	7,310 lt
PU concreto	2 500 kg/m³

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Porcentaje de sustitución de cemento por adición 1R 1,5 en mezclas de concreto

El porcentaje de sustitución de cemento por puzolana se repartió y analizó entre los valores del 20, 40, 60, 80 por ciento; además, a la mezcla de control se le agregó 20 por ciento de puzolana; en total se evaluaron seis mezclas para este trabajo de graduación.

Una vez planteados los porcentajes de sustitución, se analizaron cuatro edades de ensayo a 7, 28, 56 y 112 días en especímenes cilíndricos de 6 x 12 pulgadas. La Norma ASTM C168 limita a un 30 por ciento el uso de adición que pueden ser añadidos en mezclas de concreto; aunque no se especifica por qué razón limitan a esta cantidad; es probable que el uso de un porcentaje más elevado neutralice el crecimiento de resistencia a compresión.

3.2.5. Concreto fresco

Se le llama así a la etapa del concreto que abarca, desde que todos los materiales, incluyendo el agua, han sido mezclados hasta que el concreto ha sido colocado en su posición final y se ha dado el acabado superficial y el curado inicial.

3.2.5.1. Muestreo de concreto fresco

El método que se utilizó para obtener muestras representativas de concreto fresco fue el descrito en la Norma ASTM C172 y Norma Coguanor NTG-41061. Este método incluye el muestreo de concreto fresco procedente de mezcladoras estacionarias, de camiones mezcladores y revolvedora basculante. Se explicó el procedimiento en el capítulo anterior.

Figura 8. Mezclado de materiales



Fuente: PreCon, planta núm. 1.

3.2.5.2. Determinación del revenimiento

La prueba de revenimiento se realizó de acuerdo con los procedimientos descritos por la Norma ASTM C143 y Norma Coguanor NTG-41052; se establece que el revenimiento es una medida de la consistencia del concreto fresco de la disminución de altura.

Figura 9. Prueba de asentamiento del cono de Abrams



Fuente: PreCon, planta núm. 1.

3.2.5.3. Determinación del peso unitario

Se realizó bajo los procedimientos descritos en la Norma ASTM C138 y Norma Coguanor NTG-41017h5. Se define como la relación existente entre el peso de una muestra compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas dentro de un recipiente de volumen conocido.

Figura 10. **Prueba de peso unitario**



Fuente: PreCon, Planta núm.1.

Un cambio en el peso unitario puede indicar una variación en uno o más requisitos del desempeño del concreto.

3.2.5.4. Determinación de la temperatura

Esta prueba se realizó siguiendo el procedimiento descrito por la Norma ASTM C1064 y Norma Coguanor NTG-41053. El termómetro utilizado fue de vidrio, con una precisión de 0,5 grados centígrados. Esta prueba se realiza debido a la relevante influencia que la temperatura del concreto tiene en sus propiedades en estado fresco y endurecido, así como en el fenómeno de la contracción por secado.

Figura 11. **Prueba de temperatura**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

3.2.5.5. Determinación del contenido de aire (método de presión)

Se realizó de acuerdo con los procedimientos mencionados en la Norma ASTM C231 y Norma Coguanor NTG-41017h7. Generalmente ocupa del al tres por ciento del volumen en la mezcla.

Figura 12. **Contenido de aire por el método de presión**



Fuente: PreCon. Planta núm. 1.

3.2.5.6. Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto

La Norma ASTM C31 y Coguanor NTG-41061 establece el procedimiento para elaborar y curar especímenes de concreto para el ensayo de resistencia a la compresión, desde el momento que se desencofraron hasta el día de ensayo. Se elaboraron 3 muestras por edad y por cada mezcla; siendo un total de 72 cilindros los que se evaluaron en la fase experimental de este trabajo de graduación.

Figura 13. Elaboración de especímenes de concreto



Fuente: PreCon. Planta núm. 1.

Figura 14. **Curado de especímenes de concreto**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

3.2.6. Concreto endurecido

Se llama así a la etapa del concreto que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico al estado rígido; después de que el concreto ha fraguado empieza a ganar resistencia y se endurece. Las propiedades del concreto endurecido son resistencia y durabilidad.

3.2.6.1. Cabeceo de especímenes de concreto

Se entiende por cabeceo a la preparación de las bases de los especímenes de concreto para tener un área de contacto plana a la hora de aplicar carga axial constante y determinar su resistencia a compresión.

La Norma ASTM C617 y Norma Coguanor NTG-41064 indica que se debe de colocar en la olla la cantidad necesaria de azufre de acuerdo con los especímenes a cabecear, luego se caliente el mortero de azufre a una

temperatura de 140 grados centígrados, agitándolo constantemente; se debe lubricar ligeramente el plato de cabeceo con aceite mineral, se vacía el mortero de azufre sobre el plato y se coloca rápidamente la base del espécimen para que haga contacto con el mortero, se deja transcurrir tiempo suficiente para permitir el enfriamiento del azufre y con golpes ligeros despegar la base cabeceada del plato.

Figura 15. **Cabeceo de especímenes de concreto**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

3.2.6.2. Determinación de la resistencia a compresión de cilindros de concreto

El procedimiento para la determinación de la resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con lo establecido en la Norma ASTM C38 y Norma Coguanor NTG-41017. Se entiende por resistencia a compresión a la oposición que presenta un espécimen de forma cilíndrica de concreto bajo una carga axial, expresada como la fuerza por unidad de área generalmente dada en kilogramos por centímetro cuadrado.

Figura 16. **Ensayo a compresión**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

3.2.7. **Equipo utilizado**

- Mezcladora de concreto: mezcladora de tambor de metal giratorio marca Menegotti con capacidad de 9 pies cúbicos (1 ½ sacos), la descarga de concreto es manual y basculante por ambos lados. Dicha mezcladora fue utilizada para la elaboración de las seis mezclas evaluadas en este trabajo de graduación.

Figura 17. **Mezcladora de concreto marca Menegotti**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Equipo de revenimiento: molde metálico de superficie lateral en forma de cono truncado, este molde es de marca Forney con la base de 8 pulgadas de diámetro, la parte superior de 4 pulgadas de diámetro y una altura de 12 pulgadas. También se utilizó una barra compactadora de acero liso con punta semiesférica, con un diámetro de 5/8 de pulgada y 24 pulgadas de largo y una regla de metal rígida para determinar el revenimiento.

Figura 18. **Cono de Abrams**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Equipo de peso unitario y contenido de aire: para la prueba del peso unitario se utilizó una varilla lisa con las dimensiones antes mencionadas, un recipiente metálico de forma cilíndrica con capacidad de 7 litros, placa de enrasado mayor o igual a 1/4 de pulgadas para retirar el exceso de concreto y un mazo de goma con un peso de 1,25 libras. El equipo utilizado para la determinación del contenido de aire es de marca Forney modelo LA – 0316 y posee un medidor de tipo B que utiliza el principio de la ley de Boyle. Este equipo consta de dos partes principales; la primera

es la cámara de medición y la segunda es el conjunto de la cubierta; aquí se incorpora un manómetro, la palanca de liberación de aire, una válvula de purga de aire, bomba de aire y grifos.

Figura 19. **Equipo utilizado para peso unitario y contenido de aire**



Fuente: PreCon. Planta nùm.1.

- Moldes cilíndricos de plástico: moldes cilíndricos de plástico para preparación de especímenes de concreto de un solo uso, marca Forney con dimensiones de 6 x 12 pulgadas sin tapa, cumple con la Norma ASTM C31 y C39.

Figura 20. **Moldes cilíndricos de plástico**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Cinta métrica metálica: cinta de medición de diámetro metálica maraca Pi Tape, con un rango de medición de 28 a 200 milímetros y una graduación de 0,10 milímetros. Este tipo de cintas son precisas y rápidas para la medición de diámetros.

Figura 21. **Cinta de medición de diámetro**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Balanza digital: balanza digital de mesa utilizada para el pesaje de materiales y cilindros, marca SDS modelo IDS 701 con capacidad de 60 kilogramos y una precisión de 0,005 kilogramos.

Figura 22. **Balanza de mesa digital**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Equipo de cabeceo de cilindros: para el cabeceo de cilindros se utilizó el siguiente equipo marca Forney:
 - Olla eléctrica de aluminio para fundir azufre con capacidad de 4 a 28 litros, con controlador de temperatura de 100 a 500 grados Fahrenheit.
 - Cucharón con capacidad de 8 onzas.
 - Cabeceadores para cilindros de 6 pulgadas de diámetro, la placa de base mantiene la planicidad de 0,002 pulgadas.
 - Vernier con alcance mínimo de 0,05 milímetros.
 - Equipo de seguridad (guantes, mascarilla y lentes).
 - Escuadra metálica.

Figura 23. **Equipo para cabeceo de cilindros**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

- Máquina de compresión: utilizada para determinar la carga soportada en los cilindros de concreto, máquina estándar digital marca Forney, modelo F 2 000 KN T PILOT con capacidad de carga de 2 000 kilonewtons.

Figura 24. **Máquina digital a compresión**



Fuente: PreCon. Planta núm.1.

3.3. Resultados de la evaluación experimental

Se presentan los resultados correspondientes a los ensayos realizados en la mezcla de concreto en estado fresco y endurecido, siguiendo los procedimientos descritos en las normas antes mencionadas. Estos ensayos se realizaron con el objetivo de determinar las propiedades físicas y mecánicas de la puzolana, como adición en las mezclas de concreto en los porcentajes antes mencionados.

El análisis se realizó utilizando dos parámetros estadísticos importantes; uno de ellos es la media aritmética también llamada promedio; este parámetro es una manera de encontrar un valor representativo de un conjunto de datos; el otro parámetro utilizado fue la desviación estándar y coeficiente de variación que mide la dispersión de un conjunto de datos.

3.3.1. Determinación de asentamiento

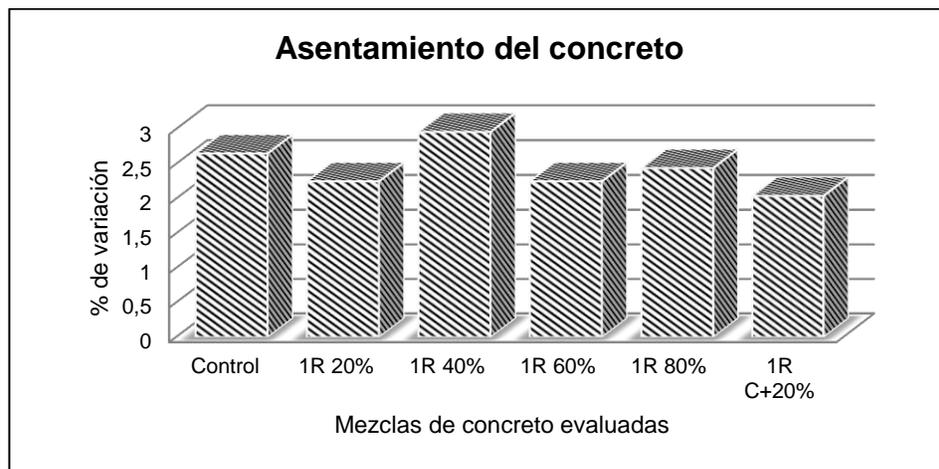
Fue el primer parámetro que se determinó para las seis mezclas de concreto evaluadas en este trabajo de graduación; el desplazamiento del concreto fue determinado mediante el cono de Abrams cumpliendo con la Norma ASTM C143 y Norma Coguanor NTG-41052. Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Determinación de asentamiento**

Tipo de mezcla	Asentamiento (pulgadas)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Control	7	± 0,19	2,65 %
1R 20 %	6,5	± 0,14	2,25 %
1R 40 %	6,5	± 0,19	2,96 %
1R 60 %	6,5	± 0,14	2,25 %
1R 80 %	7,5	± 0,18	2,44 %
1R C+20 %	7	± 0,14	2,04 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfica de coeficiente de variación en el asentamiento del concreto**



Fuente: elaboración propia.

3.3.2. **Determinación de temperatura**

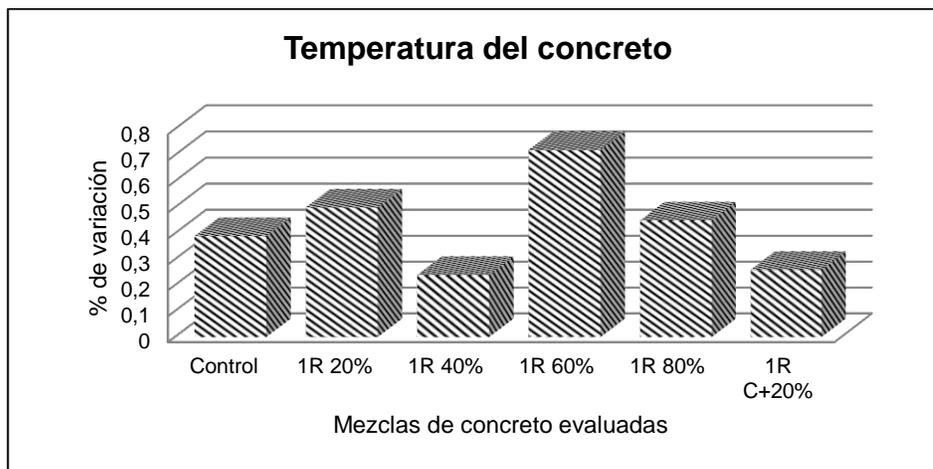
Los resultados de esta prueba se presentan en la tabla XVI: para determinar la temperatura de las mezclas de concreto se siguió lo indicado en la Norma ASTM C1064 y Coguanor NTG-41053.

Tabla XVII. **Determinación de temperatura**

Tipo de mezcla	Temperatura (grados celcius)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Control	25,3	± 0,10	0,39 %
1R 20 %	23	± 0,12	0,50 %
1R 40 %	24	± 0,06	0,24 %
1R 60 %	24	± 0,17	0,72 %
1R 80 %	22,5	± 0,10	0,45 %
1R C+20 %	22	± 0,06	0,26 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Gráfica de coeficiente de variación en la temperatura del concreto**



Fuente: elaboración propia.

3.3.3. **Determinación de peso unitario**

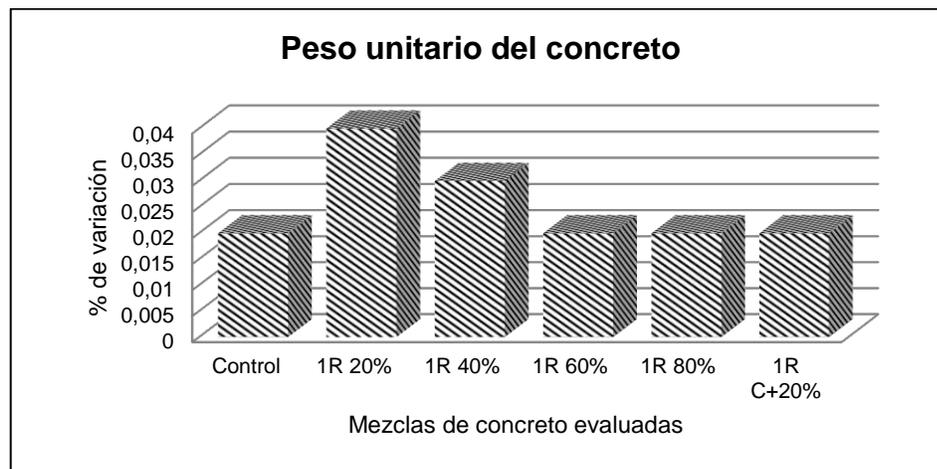
Para la determinación de este parámetro se siguió el procedimiento descrito en la Norma ASTM C138 y Coguanor NTG-41017h5; los resultados de esta prueba se muestran en la tabla XVII.

Tabla XVIII. **Determinación de peso unitario**

Tipo de mezcla	Peso unitario (kilogramos/metro cúbicos)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
Control	2 325	± 0,50	0,02 %
1R 20 %	2 336	± 0,90	0,04 %
1R 40 %	2 314	± 0,76	0,03 %
1R 60 %	2 291	± 0,53	0,02 %
1R 80 %	2 202	± 0,31	0,01 %
1R C+20 %	2 335	± 0,46	0,02 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Gráfica de coeficiente de variación en el peso unitario del concreto**



Fuente: elaboración propia.

3.3.4. **Determinación de contenido de aire**

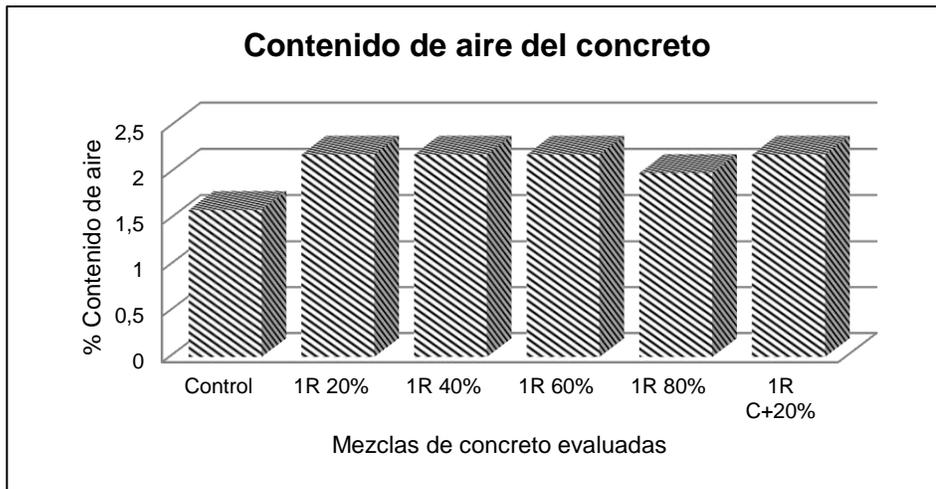
El contenido de aire se determinó mediante los procedimientos descritos en la Norma ASTM C231 y Coguanor NTG-41017h1; los resultados se encuentran en la tabla XVIII.

Tabla XIX. **Determinación de contenido de aire**

Tipo de Mezcla	Contenido de aire
Control	1,6
1R 20%	2,2
1R 40%	2,2
1R 60%	2,2
1R 80%	2
1R C+20%	2,2

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Gráfica de contenido de aire**



Fuente: elaboración propia.

3.3.5. **Determinación de resistencia a compresión**

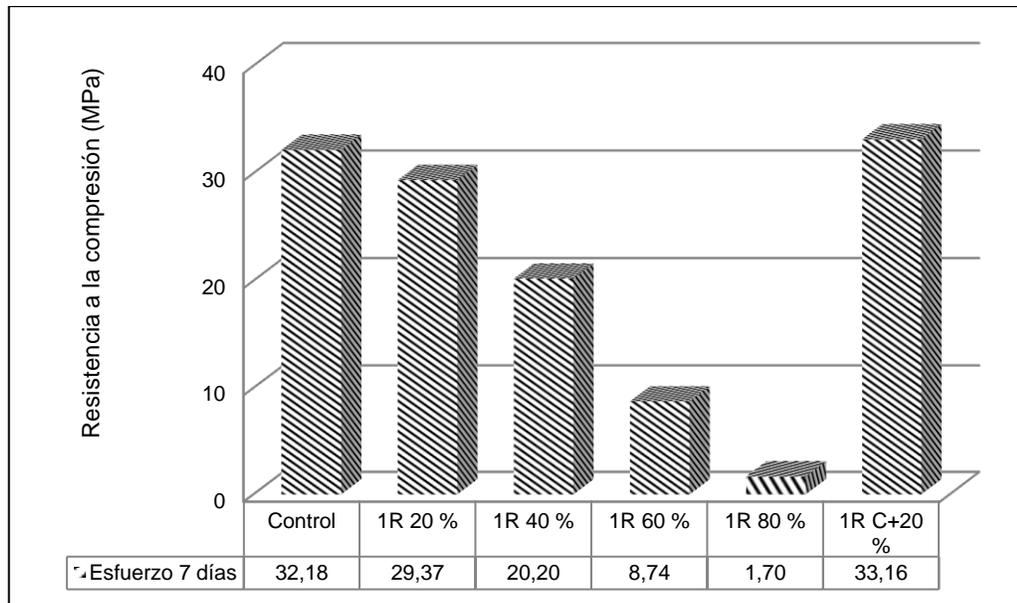
Luego de los días de curado establecidos, se procedió al ensayo de resistencia a compresión de los cilindros de concreto; los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla XX a la XIV.

Tabla XX. **Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 7 días**

Edad	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
7 días	Control	32,18	± 3,05	9,47 %
	1R 20 %	29,37	± 0,40	1,37 %
	1R 40 %	20,20	± 1,17	5,79 %
	1R 60 %	8,74	± 0,43	4,87 %
	1R 80 %	1,70	± 0,02	1,37 %
	1R C+20 %	33,16	± 0,98	2,95 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 7 días**



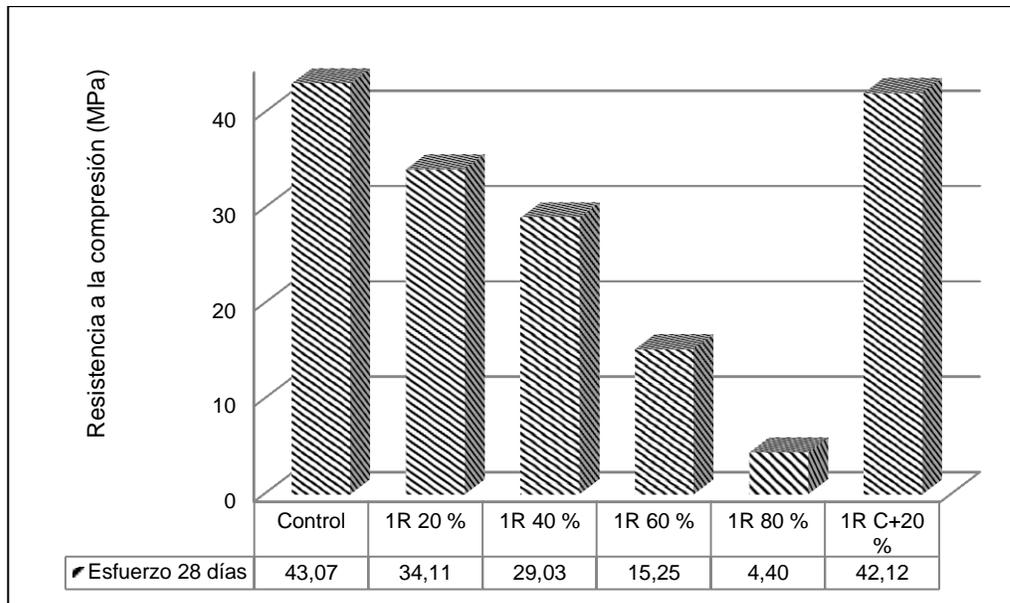
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 28 días**

Edad	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
28 días	Control	43,07	± 2,74	6,37 %
	1R 20 %	34,11	± 2,77	8,40 %
	1R 40 %	29,03	± 0,47	1,60 %
	1R 60 %	15,25	± 2,24	14,68 %
	1R 80 %	4,40	± 0,07	1,68 %
	1R C+20 %	42,12	± 0,65	1,55 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 28 días**



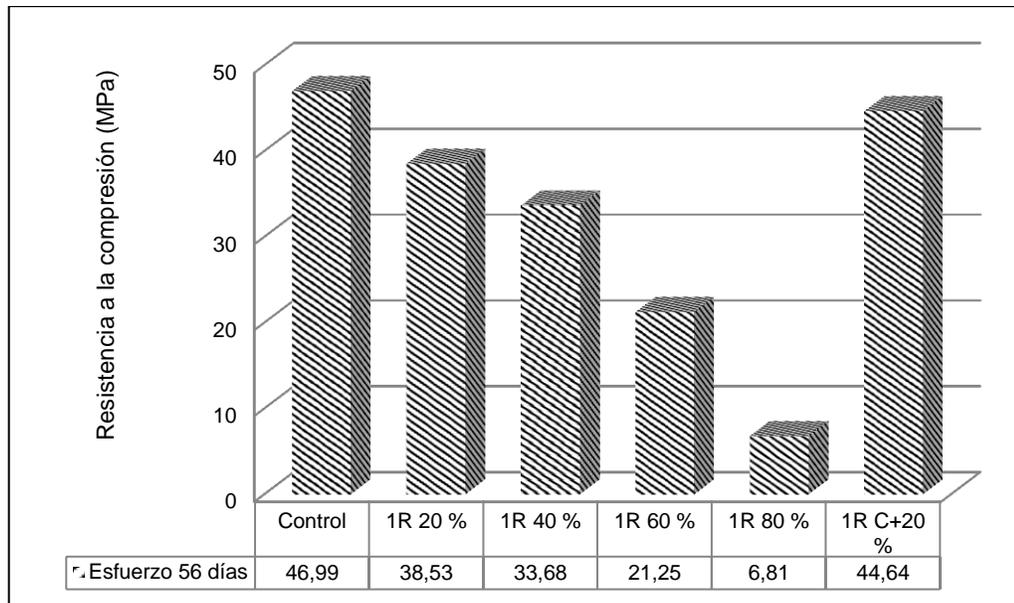
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 56 días**

Edad	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
56 días	Control	46,99	± 0,70	1,49 %
	1R 20 %	38,53	± 0,86	2,74 %
	1R 40 %	33,68	± 2,36	6,99 %
	1R 60 %	21,25	± 0,23	1,06 %
	1R 80 %	6,81	± 0,38	5,53 %
	1R C+20 %	44,64	± 0,80	1,79 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 56 días**



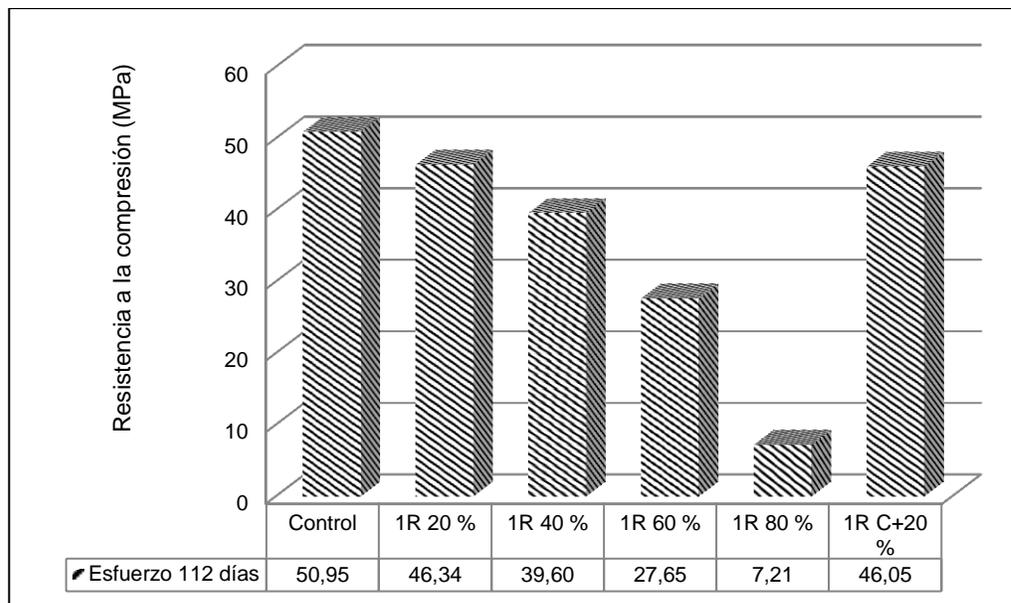
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 112 días**

Edad	Tipo de mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)	Desviación estándar	Coefficiente de variación
112 días	Control	50,95	± 4,92	9,66 %
	1R 20 %	46,34	± 2,61	5,63 %
	1R 40 %	39,60	± 5,09	12,85 %
	1R 60 %	27,65	± 0,44	1,60 %
	1R 80 %	7,21	± 0,46	6,43 %
	1R C+20 %	46,05	± 4,31	9,36 %

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Gráfica de esfuerzos promedio resistencia a la compresión a 112 días**



Fuente: elaboración propia.

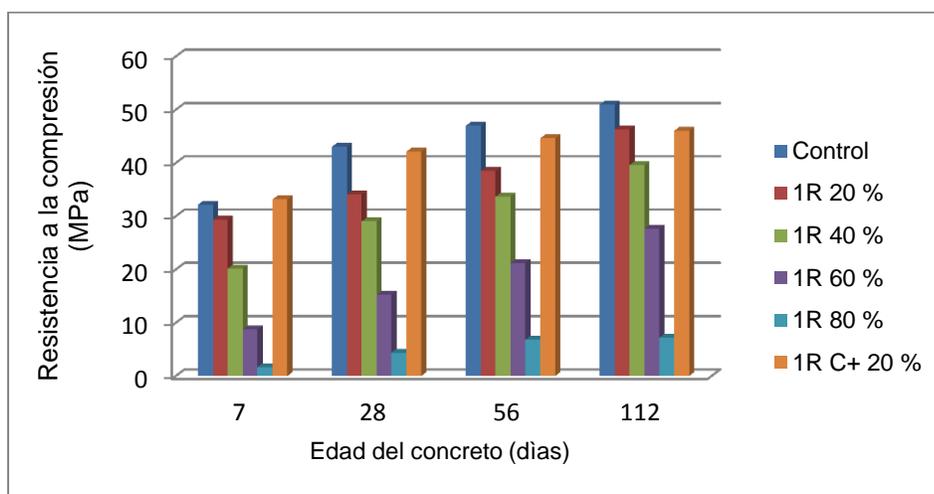
A continuación se muestra una tabla con el resumen de resistencia a compresión de las mezclas evaluadas, así como una gráfica donde se pueden observar los esfuerzos promedio y por último se puede ver la evolución en el tiempo que tuvieron las mezclas de concreto.

Tabla XXIV. **Resumen de esfuerzos promedio de resistencia a compresión**

Tipo de Mezcla	Resistencia a la compresión (MPa)			
	7 días	28 días	56 días	112 días
Control	32,18	43,07	46,99	50,95
1R 20%	29,37	34,11	38,53	46,35
1R 40%	20,20	29,03	33,68	39,60
1R 60%	8,74	15,25	21,25	27,65
1R 80%	1,70	4,40	6,81	7,21
1R C+20%	33,16	42,12	44,64	46,05

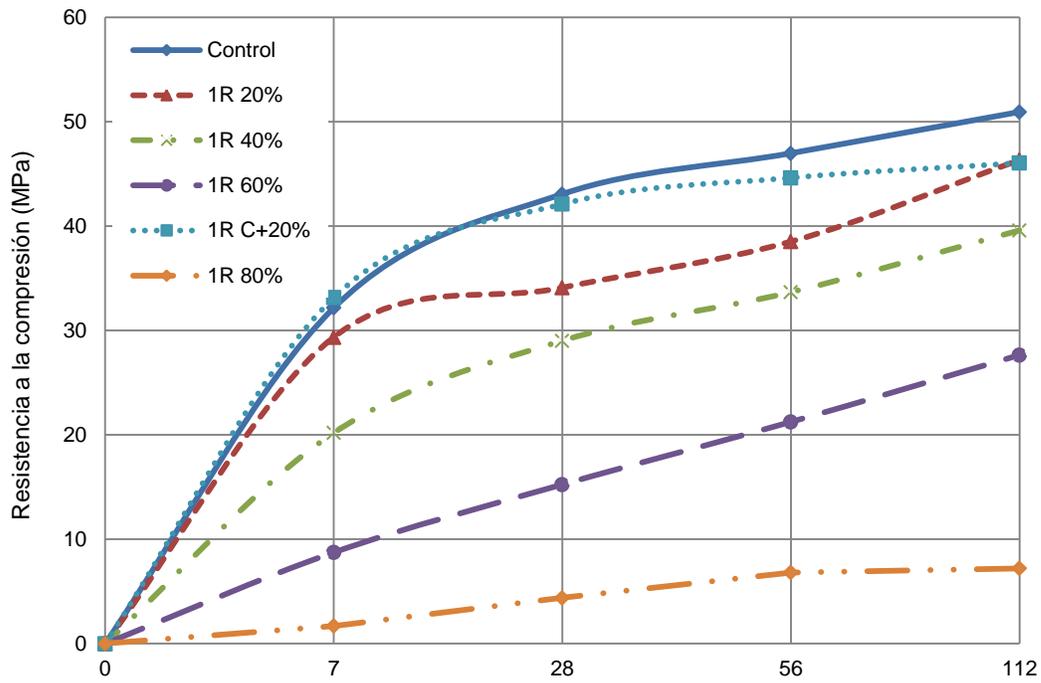
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Esfuerzos promedio de resistencia a compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfica de evolución en el tiempo de resistencia a la compresión del concreto**



Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Luego de realizados los ensayos, tanto en estado fresco como endurecido, en las mezclas de concreto 1R 20 %, 1R 40 %, 1R 60 %, 1R 80 % y 1R + 20 %, se hace necesario analizar estadísticamente todos los resultados obtenidos, para determinar qué porcentaje de adición es adecuado para mezclas de concreto. Este análisis se desarrolló con base en las herramientas estadísticas mencionadas anteriormente. Sabiendo que la adición 1R 1,5 presenta un alto grado de reactividad puzolánica, el objetivo fundamental consistió en evaluar experimentalmente el efecto de la sustitución de cemento por la adición mineral en la resistencia a compresión de mezclas de concreto.

Para obtener los resultados, se evaluaron las mezclas de concreto en dos condiciones importantes (fresco y endurecido); toda esta metodología empleada en el proceso se indicó anteriormente en las normas descritas en este trabajo de graduación.

La determinación del asentamiento fue una de las primeras pruebas realizadas al concreto fresco, como base se tomó un asentamiento de 7 pulgadas; se obtuvo un asentamiento de 6,5 pulgadas para las mezclas 1R 20 %, 1R 40 % y 1R 60 %; lo que indica que existió una disminución de 0,5 pulgadas comparado con la mezcla de control. En la mezcla 1R 80 % ocurrió lo contrario, aumentó el asentamiento en 0,5 pulgadas. La mezcla 1R C+20 % presentó un asentamiento igual a la mezcla de control. Con esto se puede pensar que no existe una variación significativa a mayor aumento de porcentaje de adición. El rango de coeficiente de variación se mantuvo de 2,04 a 2,96 por ciento.

En los resultados obtenidos en el ensayo de temperatura, en la mezcla 1R 80 % hubo una variación de 2,8 grados Celsius menos, en comparación con la mezcla de control; de igual forma para las demás mezclas hay una disminución en la temperatura. Se puede mencionar que a mayor porcentaje de adición existe una disminución en la temperatura del concreto. El criterio de aceptación para la temperatura es de 32 grados Celsius, según Norma ASTM C 94, *“Concreto premezclado, especificaciones”*.

Los resultados obtenidos en la prueba de peso unitario en las mezclas de concreto fresco, reflejan muy poca variación en las mezclas 1R 20 %, 1R 40 % y 1R C+20 % con base en el peso unitario obtenido para la mezcla de control, caso contrario para la mezcla 1R 80 % que presentó una disminución de 123 kilogramos/metro cúbico, comparada con la mezcla de control. Normalmente el peso unitario está entre 2 240 y 2 460 kilogramos/metro cúbico. El análisis estadístico aplicado muestra un coeficiente de variación entre 0,02 y 0,04 por ciento, lo cual indica una excelente confiabilidad en los resultados.

Generalmente el aire incluido en las mezclas de concreto está entre 1 al 3 por ciento; para las mezclas evaluadas en este trabajo de graduación, todas se mantuvieron dentro de ese rango; las mezclas 1R 20 %, 1R 40 %, 1R 60 % y 1R C+20 % presentan contenido de aire de 2,2 por ciento. La mezcla de control presentó 1,6 por ciento de contenido de aire. El contenido de aire está en función de la proporciones, características físicas de los materiales y método de compactación; pudo ser alguna de estas situaciones la causante de la variación de las mezclas con la mezcla de control.

Para las mezclas de concreto en estado endurecido, se realizó la prueba de compresión para determinar la resistencia de los especímenes de concreto. Se determinó la resistencia para las tres probetas de cada mezcla en las

edades establecidas anteriormente; los resultados obtenidos se evaluaron por métodos estadísticos al igual que las pruebas de concreto fresco. Los métodos estadísticos como la desviación estándar indicaron los límites máximos y mínimos en las resistencias de las probetas ensayadas; la calidad del concreto desarrollado en cada una de las edades lo indicó el coeficiente de variación.

Para la mezcla de control, a 7 días se presentó una resistencia de 32,28 MPa; las demás mezclas presentan una disminución en la resistencia que va ligada con la cantidad de porcentaje adicionado en la mezcla de concreto. En la mezcla 1R 20 % se presentó una disminución de 8,74 por ciento, comparada con la mezcla de control. La mezcla 1R 40 % presentó una resistencia de 20,20 MPa; esto representa una disminución del 37,22 por ciento de la resistencia de la mezcla de control. El mismo fenómeno de disminución presentaron las mezclas 1R 60 % y 1R 80 %, que presentan el 72,83 y 94,72 por ciento de la resistencia de la mezcla de control.

La mezcla 1R C+20 % presentó un aumento de resistencia comparada con la mezcla de control, 33,16 MPa; esto representa el 3,05 por ciento de aumento. El coeficiente de variación estuvo en el rango de 1,37 a 9,47 por ciento, lo que indica una uniformidad en la mezcla de concreto muy buena.

Después de 28 días de curado, la mezcla de control reflejó una resistencia de 43,07 MPa, el resto de mezclas de concreto presentaron una disminución de 20,77 a 89,78 por ciento, comparada con la mezcla control. En esta edad la mezcla 1R C+20 % disminuyó 2,22 por ciento que representa 42,12 MPa. La uniformidad del concreto fue buena, ya que los resultados de coeficiente de variación están entre 1,55 a 14,68 por ciento.

Con los resultados a 7 y 28 días se evidencia una disminución en las resistencias de las mezclas de concreto a mayor porcentaje de adición. Los resultados obtenidos a los 56 días no fueron la excepción, mostraron una resistencia de 46,99 MPa para la mezcla de control, para el resto de las mezclas se mantuvo la disminución de resistencia que va desde 18,03 a 85.50 por ciento. La disminución de la mezcla 1R C+20 % se mantuvo. El coeficiente de variación estuvo entre 1,06 a 6,99 por ciento, lo que indica una buena dosificación en los materiales.

Para la prueba de compresión a los 112 días de curado, los cambios que presentaron las mezclas con base en la de control son muy pocos; siempre el máximo valor fue para la mezcla de control 50,95 MPa, y la tendencia de disminución para las demás mezclas, las cuales se mantuvieron en el rango de 9,05 a 85,84 por ciento. El coeficiente de variación se elevó comparado con las demás edades pero presentó una buena uniformidad en el concreto.

En la figura 34 se puede observar claramente que en el transcurso del tiempo y después de 112 días de curado para las mezclas de concreto con diferente porcentaje de adición, la mezcla con los mayores resultados obtenidos fue la mezcla de control; para la mezcla 1R 20 % los resultados no fueron tan alejados y en promedio la disminución fue de 15 por ciento. Además, se observa que al realizar los ensayos de compresión a los 112 días, continúa con un comportamiento constante a lo largo del tiempo, comprobando que la resistencia de diseño se alcanza a los veintiocho días para la mezcla de control, 1R 20 % y 1R C+20 %.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó la mezcla control, con una resistencia deseada de 35 MPa (equivalente a 5 000 libras/pulgada cuadrada), a la edad de 28 días. Se utilizó en su diseño un cemento CFB de Cementos Progreso, de alta resistencia inicial; los agregados utilizados fueron procedentes de Agreca, y experimentalmente se obtuvo una resistencia a los 28 días de 43,07 MPa, equivalente a 123,07 por ciento de la resistencia deseada.
2. Se elaboraron seis diferentes tipos de mezclas, y a cada una de ellas se le sustituyó un porcentaje de cemento Portland por adición mineral 1R 1,5. El comportamiento siguió la misma tendencia en las cuatro edades de curado evaluadas, al sustituir mayor porcentaje de cemento Portland por adición mineral, la resistencia a la compresión fue disminuyendo.
3. La adición mineral 1R 1,5 es una ceniza volcánica de color rosado, obtenida en el banco de material ubicado en el kilómetro 84 carretera CA-9, departamento de El Progreso. Posee valores aceptables de pérdida de ignición y finura Blaine, y contiene un nivel alto de reactividad mecánica.
4. Siguiendo la metodología que describe la Norma ASTM C172, *“Procedimiento para el muestreo del concreto fresco”*, se desarrolló el procedimiento en las mezclas de concreto fresco, para los ensayos de revenimiento, temperatura, contenido de aire y peso unitario. Los resultados obtenidos mostraron que las mezclas no presentan cambios significativos en la trabajabilidad del concreto.

5. Para el ensayo de temperatura refleja que hubo variación en los valores obtenidos, a mayor porcentaje de adición existió una disminución en la temperatura, pero siempre se mantuvo dentro del parámetro que indica la Norma ASTM C94, *“Concreto premezclado, especificaciones”*. En la prueba de peso unitario no existió variación significativa en los valores obtenidos. El porcentaje de contenido de aire en las mezclas se encuentran dentro del rango especificado, donde el valor máximo permitido es 3 por ciento.

6. Se realizó la prueba de compresión para determinar la resistencia de los especímenes de concreto para las mezclas evaluadas a las edades expuestas. Las mezclas aumentan su resistencia gradualmente conforme aumenta la edad, la mezcla 1R 20 % alcanzó el 97,46 por ciento de la resistencia de diseño y la mezcla 1R + 20 % alcanzó el 120,33 por ciento; ambos resultados a 28 días. Se evidenció en la resistencia a compresión una disminución en las mezclas de concreto a mayor porcentaje de adición. Con esto se comprueba que la resistencia de diseño para las mezclas de control y 1R + 20 % se alcanza a los 28 días.

7. El efecto de la sustitución de cemento Portland por la adición mineral 1R 1,5 no cumple con las mezclas 1R 40 %, 1R 60 % y 1R 80 %, ya que los porcentajes de resistencia en relación con la mezcla control, que alcanzan las distintas mezclas, no es mayor al 82,93 por ciento a los 28 días, pero la forma que indica la gráfica a los 112 días da una leve indicación que las mezclas antes mencionadas alcanzan la resistencia de diseño a una edad determinada. La mezcla 1R 20 % da buenos resultados y podría ser utilizada para elementos estructurales complementarios.

RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos a compresión a mayor tiempo que los 112 días, para valorar la actividad puzolánica en las mezclas 1R 40 % y 1R 60 %.
2. Las mezclas evaluadas 1R 40 % y 1R 60 % se pueden usar dependiendo de su aplicación, ya que se observó que a los 28 días alcanzaron una resistencia de 18 MPa y 30 MPa.
3. Al observar los resultados en la resistencia de la mezcla de concreto 1R 20 %, se puede sugerir un análisis con adiciones de puzolana natural del 15 al 18 por ciento, para que sean evaluadas sus características físicas y mecánicas.
4. Ejecutar este trabajo utilizando otras adiciones naturales, para observar la actividad puzolánica y la variabilidad que posee cada una de ellas, ya que ha sido comprobado que Guatemala es un territorio con abundantes tipos de adiciones minerales y que poseen un alto índice de reactividad mecánica.
5. Efectuar los ensayos correctamente como lo indican en las Normas ASTM y Coguanor, para garantizar datos exactos y confiables en las propiedades de concreto.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM. Annual Book of ASTM. *Standards construction, volumen 4.02. Concrete and aggregates. Norma ASTM C31/C31M-12 Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 18 de junio de 2013].
2. _____. *Norma ASTM C39/C39M-12a Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 01 de julio de 2013].
3. _____. *Norma ASTM C138/C138M-13a Standard test method for density (Unit Weight), yield, and air content (Gravimetric) of concrete.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 21 de junio de 2013].
4. _____. *Norma ASTM C143/C143M-12 Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 22 de junio de 2013].
5. _____. *Norma ASTM C231/C231M Standard test method for air content of freshly mixed concrete by the pressure method.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 18 de junio de 2013].
6. _____. *Norma ASTM C617/C617M-12 Standard practice for capping cylindrical concrete specimens.* [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 31 de junio de 2013].

7. _____. *Norma ASTM C1064/C1064M-12 Standard test method for temperature of freshly mixed hydraulic-cement concrete*. [en línea]. <<http://www.astm.org>>. [Consulta: 21 de junio de 2013].
8. BAUTISTA GALLARDO, Pablo José. *Determinación del índice de reactividad mecánica de 18 muestras de materiales volcánicos de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 153 p.
9. COSILLO, Alan Giovanni. *La geología en Guatemala: Sociedad geológica de Guatemala - SGG -*. Geo notas. Parte 1. Guatemala, 2008. 24 p.
10. DOPICO, Juan José. *Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario*. Cuba: *Revista Ingeniería de Construcción*, 2008. Vol. 23, núm. 3. 8 p.
11. FICEM. *Producción y consumo de cemento a nivel mundial*. Colombia: Informe estadístico de federación interamericana del cemento, Colombia, 2013. 52 p.
12. OCHOA MARROQUÍN, Luis Alfredo. *Caracterización geológica y física de 8 muestras de puzolanas de origen volcánico de la región de occidente de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 133 p.
13. QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ, Francisco J. *Determinación y evaluación experimental del índice de reactividad puzolánica de diez bancos*

de materiales de la franja volcánica de Guatemala para la industria del cemento. Proyecto Fodecyt No. 023-10. Guatemala: CONCYT-USAC, 2013. 106 p.

14. _____ . *Estado del arte de puzolanas naturales volcánicas como adiciones activas en la producción de cementos.* Informe final del proyecto de investigación interno No. 01-2010. Guatemala: UIEIC/USAC, 2010. 75 p.

15. ROSALES RIVAS, Víctor Rafael. *Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala.* Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 150 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tablas resumen ensayos a compresión 1R 1,5

Resistencia a la compresión mezcla de control

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	% f'c
1	Ctrl	28-may-13	04-jun-13	7	13,05	30,73	15,28	625,36	183,37	34,09	347,65	4947,01	4 Corte	5000	99 %
1	Ctrl	28-may-13	04-jun-13	7	13,03	30,73	15,22	521,42	181,86	28,66	292,28	4159,19	3 Cónica y Corte	5000	83 %
1	Ctrl	28-may-13	04-jun-13	7	12,99	30,77	15,18	611,71	181,06	33,77	344,40	4900,85	4 Corte	5000	98 %
2	Ctrl	28-may-13	25-jun-13	28	13,02	30,67	15,25	826,98	182,65	45,26	461,54	6567,73	4 Corte	5000	131 %
2	Ctrl	28-may-13	25-jun-13	28	13,01	30,40	15,26	732,01	182,97	39,99	407,82	5803,34	4 Corte	5000	116 %
2	Ctrl	28-may-13	25-jun-13	28	13,09	30,67	15,31	809,27	184,01	43,97	448,32	6379,58	4 Corte	5000	128 %
3	Ctrl	28-may-13	23-jul-13	56	13,02	30,57	15,35	868,50	184,98	46,94	478,63	6810,85	3 Cónica y Corte	5000	136 %
3	Ctrl	28-may-13	23-jul-13	56	12,99	30,43	15,26	847,84	182,97	46,32	472,36	6721,63	4 Corte	5000	134 %
3	Ctrl	28-may-13	23-jul-13	56	12,97	30,43	15,24	870,66	182,41	47,71	486,56	6923,70	4 Corte	5000	138 %
4	Ctrl	28-may-13	17-sep-13	112	13,04	30,57	15,30	992,26	183,85	53,95	550,17	7828,93	5 Columnar	5000	157 %
4	Ctrl	28-may-13	17-sep-13	112	13,06	30,63	15,37	839,71	185,46	45,26	461,56	6567,95	5 Columnar	5000	131 %
4	Ctrl	28-may-13	17-sep-13	112	13,04	30,57	15,35	992,56	185,06	53,62	546,76	7780,36	5 Columnar	5000	156 %

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

Resistencia a la compresión mezcla 1R 20%

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	f'c % f'c
1	1R 20%	30-may-13	06-jun-13	7	13,07	30,57	15,28	530,23	183,29	28,92	294,89	4196,30	4 Corte	5000	84 %
1	1R 20%	30-may-13	06-jun-13	7	13,07	30,67	15,24	541,73	182,33	29,70	302,87	4309,85	4 Corte	5000	86 %
1	1R 20%	30-may-13	06-jun-13	7	13,08	30,73	15,28	540,68	183,37	29,48	300,57	4277,14	4 Corte	5000	86 %
2	1R 20%	30-may-13	27-jun-13	28	13,09	30,57	15,35	641,93	185,06	34,68	353,61	5031,88	4 Corte	5000	101 %
2	1R 20%	30-may-13	27-jun-13	28	13,13	30,67	15,30	571,96	183,85	31,10	317,13	4512,76	4 Corte	5000	90 %
2	1R 20%	30-may-13	27-jun-13	28	13,13	30,60	15,29	671,48	183,61	36,56	372,80	5304,91	4 Corte	5000	106 %
3	1R 20%	30-may-13	25-jul-13	56	13,13	30,50	15,30	690,51	183,65	37,55	382,86	5448,12	5 Columnar	5000	109 %
3	1R 20%	30-may-13	25-jul-13	56	13,11	30,60	15,34	718,81	184,74	38,90	396,65	5644,32	4 Corte	5000	113 %
3	1R 20%	30-may-13	25-jul-13	56	13,06	30,33	15,30	719,47	183,77	39,14	399,09	5679,09	4 Corte	5000	114 %
4	1R 20%	30-may-13	19-sep-13	112	13,10	30,43	15,27	863,65	183,05	47,17	480,95	6843,98	5 Columnar	5000	137 %
4	1R 20%	30-may-13	19-sep-13	112	13,06	30,40	15,30	890,65	183,85	48,43	493,83	7027,22	5 Columnar	5000	141 %
4	1R 20%	30-may-13	19-sep-13	112	13,11	30,53	15,32	800,14	184,25	43,41	442,68	6299,37	5 Columnar	5000	126 %

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

Resistencia a la compresión mezcla 1R 40%

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	f'c % f'c
1	1R 40%	04-jun-13	11-jun-13	7	12,96	30,40	15,24	363,35	182,41	19,91	203,05	2889,45	4 Corte	5000	58%
1	1R 40%	04-jun-13	11-jun-13	7	12,97	30,51	15,31	395,51	184,01	21,49	219,10	3117,85	4 Corte	5000	62%
1	1R 40%	04-jun-13	11-jun-13	7	12,95	30,50	15,29	352,68	183,61	19,20	195,80	2786,28	4 Corte	5000	56%
2	1R 40%	04-jun-13	02-jul-13	28	12,98	30,60	15,28	531,89	183,45	28,98	295,56	4205,77	4 Corte	5000	84%
2	1R 40%	04-jun-13	02-jul-13	28	12,92	30,67	15,26	539,93	182,89	29,51	300,94	4282,41	4 Corte	5000	86%
2	1R 40%	04-jun-13	02-jul-13	28	12,96	30,60	15,24	521,36	182,33	28,58	291,48	4147,80	4 Corte	5000	83%
3	1R 40%	04-jun-13	30-jul-13	56	12,96	30,53	15,28	654,29	183,29	35,69	363,89	5178,13	4 Corte	5000	104%
3	1R 40%	04-jun-13	30-jul-13	56	13,00	30,57	15,25	626,19	182,65	34,27	349,48	4973,09	4 Corte	5000	99%
3	1R 40%	04-jun-13	30-jul-13	56	12,94	30,40	15,30	571,96	183,93	31,09	316,99	4510,80	4 Corte	5000	90%
4	1R 40%	04-jun-13	24-sep-13	112	12,90	30,37	15,25	778,11	182,65	42,59	434,27	6179,61	2 Conicay Vertical	5000	124%
4	1R 40%	04-jun-13	24-sep-13	112	12,89	30,30	15,27	617,58	183,05	33,73	343,92	4894,01	4 Corte	5000	98%
4	1R 40%	04-jun-13	24-sep-13	112	12,907	30,43	15,26	777,39	182,89	42,49	433,30	6165,80	4 Corte	5000	123%

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

Resistencia a la compresión mezcla 1R 60%

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	f'c % f'c
1	1R 60%	06-jun-13	13-jun-13	7	12,50	30,67	15,20	158,44	181,54	8,72	88,97	1266,04	4 Corte	5000	25%
1	1R 60%	06-jun-13	13-jun-13	7	12,42	30,50	15,19	151,02	181,30	8,33	84,91	1208,34	4 Corte	5000	24%
1	1R 60%	06-jun-13	13-jun-13	7	12,47	30,50	15,26	167,83	182,81	9,18	93,58	1331,71	4 Corte	5000	27%
2	1R 60%	06-jun-13	04-jul-13	28	12,75	30,60	15,23	325,00	182,18	17,83	181,86	2587,87	4 Corte	5000	52%
2	1R 60%	06-jun-13	04-jul-13	28	12,69	30,50	15,24	255,45	182,41	14,00	142,75	2031,40	4 Corte	5000	41%
2	1R 60%	06-jun-13	04-jul-13	28	12,68	30,47	15,23	253,50	182,10	13,92	141,91	2019,43	4 Corte	5000	40%
3	1R 60%	06-jun-13	01-ago-13	56	12,76	30,60	15,22	383,88	181,86	21,10	215,18	3062,08	4 Corte	5000	61%
3	1R 60%	06-jun-13	01-ago-13	56	12,70	30,47	15,26	393,36	182,81	21,51	219,34	3121,26	4 Corte	5000	62%
3	1R 60%	06-jun-13	01-ago-13	56	12,81	30,73	15,28	387,76	183,37	21,14	215,56	3067,44	4 Corte	5000	61%
4	1R 60%	06-jun-13	26-sep-13	112	12,73	30,50	15,25	501,20	182,65	27,43	279,72	3980,44	4 Corte	5000	80%
4	1R 60%	06-jun-13	26-sep-13	112	12,65	30,30	15,23	513,45	182,26	28,16	287,19	4086,65	4 Corte	5000	82%
4	1R 60%	06-jun-13	26-sep-13	112	12,77	30,47	15,32	504,45	184,25	27,37	279,09	3971,45	4 Corte	5000	79%

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 1.

Resistencia a la compresión mezcla 1R 80%

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	% f'c
1	1R 80%	11-jun-13	18-jun-13	7	12,20	29,97	15,22	31,01	181,86	1,70	17,38	247,36	2 Cónica y Vertical	5000	5 %
1	1R 80%	11-jun-13	18-jun-13	7	12,13	30,17	15,27	30,66	183,05	1,67	17,07	242,96	4 Corte	5000	5 %
1	1R 80%	11-jun-13	18-jun-13	7	12,28	30,33	15,28	31,57	183,45	1,72	17,54	249,63	4 Corte	5000	5 %
2	1R 80%	11-jun-13	09-jul-13	28	12,14	29,93	15,27	79,72	183,05	4,35	44,39	631,74	4 Corte	5000	13 %
2	1R 80%	11-jun-13	09-jul-13	28	12,06	29,97	15,26	82,09	182,89	4,49	45,75	651,09	4 Corte	5000	13 %
2	1R 80%	11-jun-13	09-jul-13	28	12,09	30,03	15,27	79,93	183,09	4,36	44,50	633,27	4 Corte	5000	13 %
3	1R 80%	11-jun-13	06-ago-13	56	11,95	29,03	15,23	117,08	182,26	6,42	65,49	931,86	4 Corte	5000	19 %
3	1R 80%	11-jun-13	06-ago-13	56	12,14	29,62	15,20	130,21	181,46	7,17	73,15	1040,92	4 Corte	5000	21 %
3	1R 80%	11-jun-13	06-ago-13	56	12,04	29,77	15,23	124,85	182,26	6,85	69,83	993,71	4 Corte	5000	20 %
4	1R 80%	11-jun-13	01-oct-13	112	12,19	29,90	15,32	127,49	184,25	6,92	70,53	1003,71	4 Corte	5000	20 %
4	1R 80%	11-jun-13	01-oct-13	112	12,11	29,10	15,28	128,04	183,45	6,98	71,15	1012,44	4 Corte	5000	20 %
4	1R 80%	11-jun-13	01-oct-13	112	12,26	30,20	15,28	142,19	183,45	7,75	79,01	1124,33	4 Corte	5000	22 %

Fuente: elaboración propia.

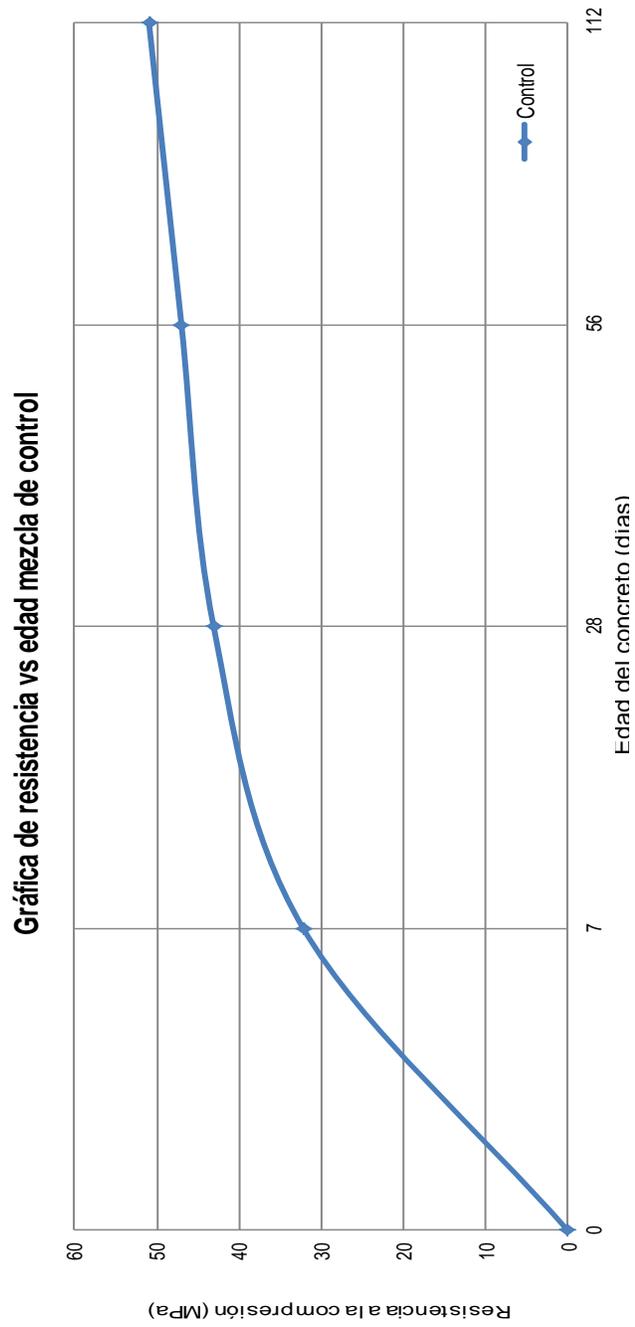
Continuación del apéndice 1.

Resistencia a la compresión mezcla control + 20%

ID	Tipo De Mezcla	Fecha De Hechura	Fecha De Ruptura	Edad (días)	Peso (kg)	Altura (cm)	Diametro (cm)	Carga (kN)	Area (cm ²)	Mpa	kg/cm ²	lbs/pulg ² (psi)	Tipo de falla	f'c (psi)	f'c % f'c
1	Ctrl + 20%	13-jun-13	20-jun-13	7	13,20	30,73	15,25	589,29	182,73	32,24	328,74	4677,99	4 Corte	5000	94 %
1	Ctrl + 20%	14-jun-13	21-jun-13	7	13,05	30,47	15,21	621,33	181,70	34,19	348,59	4960,48	3 Cónica y Corte	5000	99 %
1	Ctrl + 20%	15-jun-13	22-jun-13	7	13,05	30,37	15,22	601,82	182,02	33,05	337,06	4796,30	4 Corte	5000	96 %
2	Ctrl + 20%	16-jun-13	14-jul-13	28	13,09	30,53	15,20	777,95	181,54	42,84	436,85	6216,32	4 Corte	5000	124 %
2	Ctrl + 20%	17-jun-13	15-jul-13	28	13,12	30,47	15,24	765,34	182,41	41,94	427,70	6086,17	4 Corte	5000	122 %
2	Ctrl + 20%	18-jun-13	16-jul-13	28	13,18	30,50	15,24	758,47	182,41	41,57	423,86	6031,54	4 Corte	5000	121 %
3	Ctrl + 20%	19-jun-13	14-ago-13	56	13,21	30,60	15,32	807,56	184,25	43,81	446,79	6357,79	5 Columnar	5000	127 %
3	Ctrl + 20%	20-jun-13	15-ago-13	56	13,04	30,40	15,27	832,18	183,21	45,41	463,02	6588,84	5 Columnar	5000	132 %
3	Ctrl + 20%	21-jun-13	16-ago-13	56	13,09	30,33	15,27	818,21	183,05	44,68	455,65	6483,90	5 Columnar	5000	130 %
4	Ctrl + 20%	13-jun-13	03-oct-13	112	13,14	30,47	15,28	820,56	183,45	44,71	455,96	6488,34	5 Columnar	5000	130 %
4	Ctrl + 20%	13-jun-13	03-oct-13	112	13,09	30,50	15,30	935,17	183,77	50,87	518,74	7381,70	5 Columnar	5000	148 %
4	Ctrl + 20%	13-jun-13	03-oct-13	112	13,14	30,50	15,20	772,62	181,46	42,57	434,04	6176,44	5 Columnar	5000	124 %

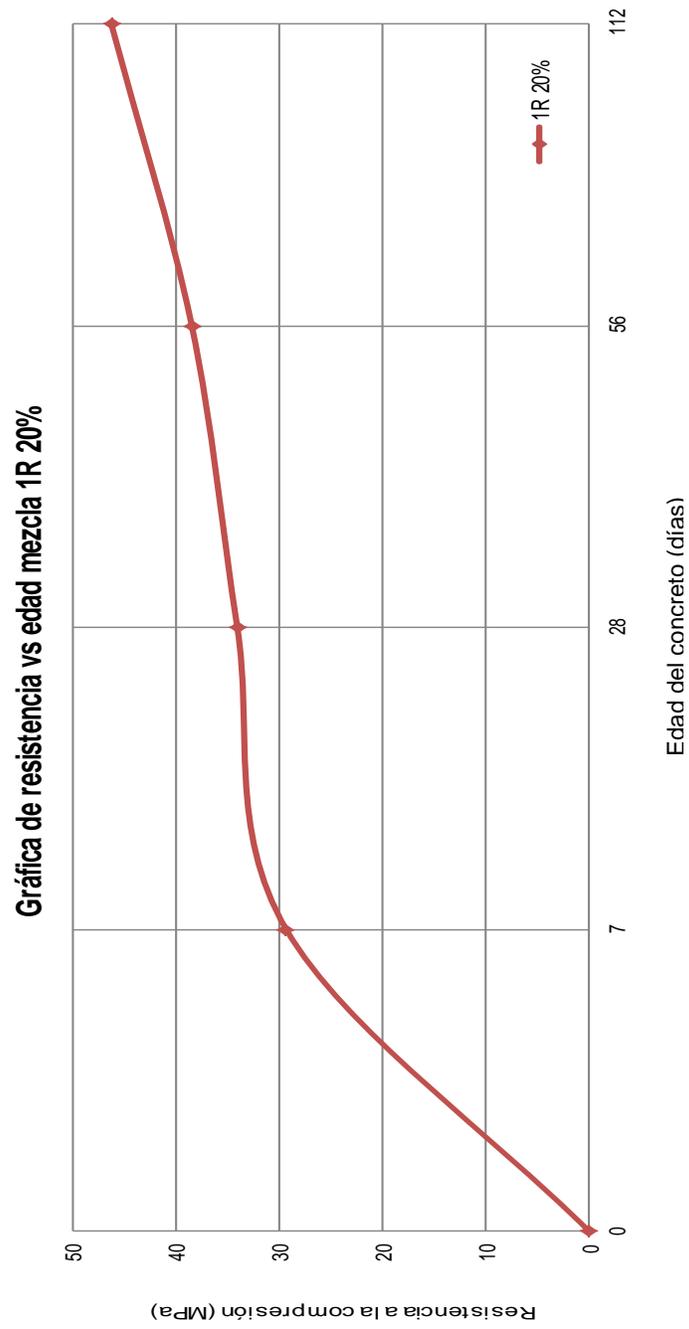
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Gráficas de resistencia vs edad mezclas 1R 1,5**



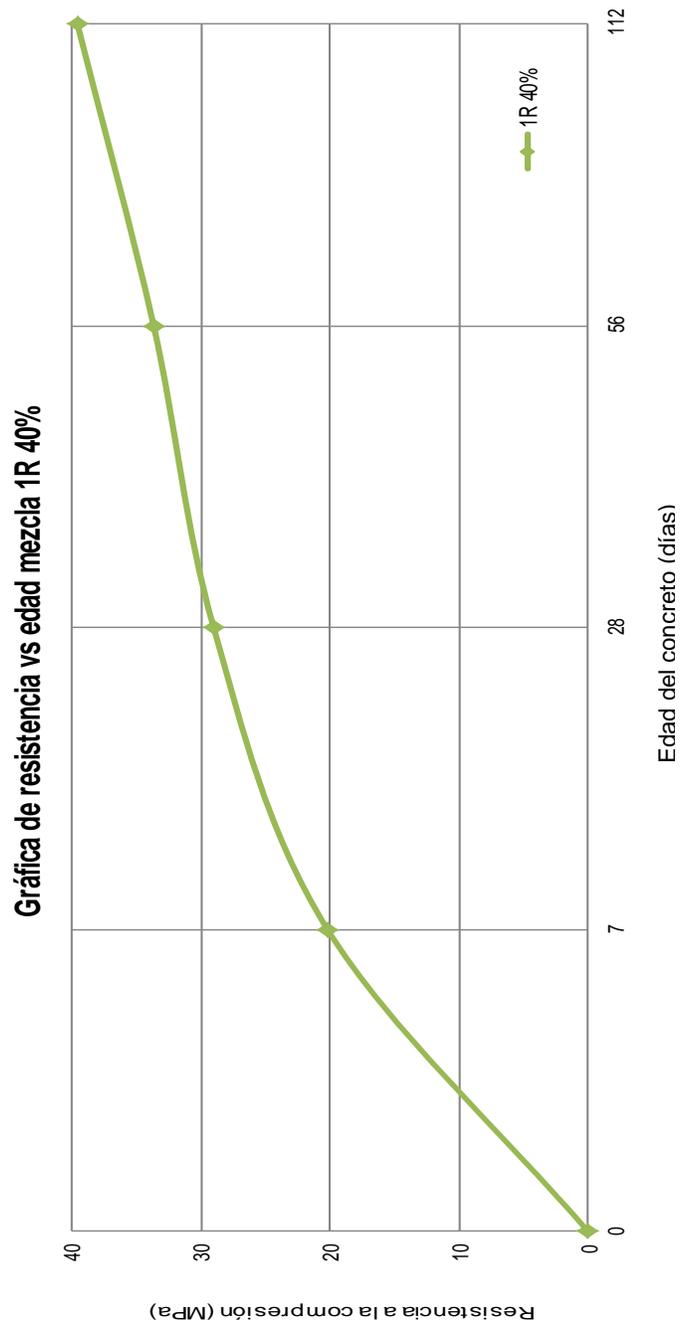
Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.



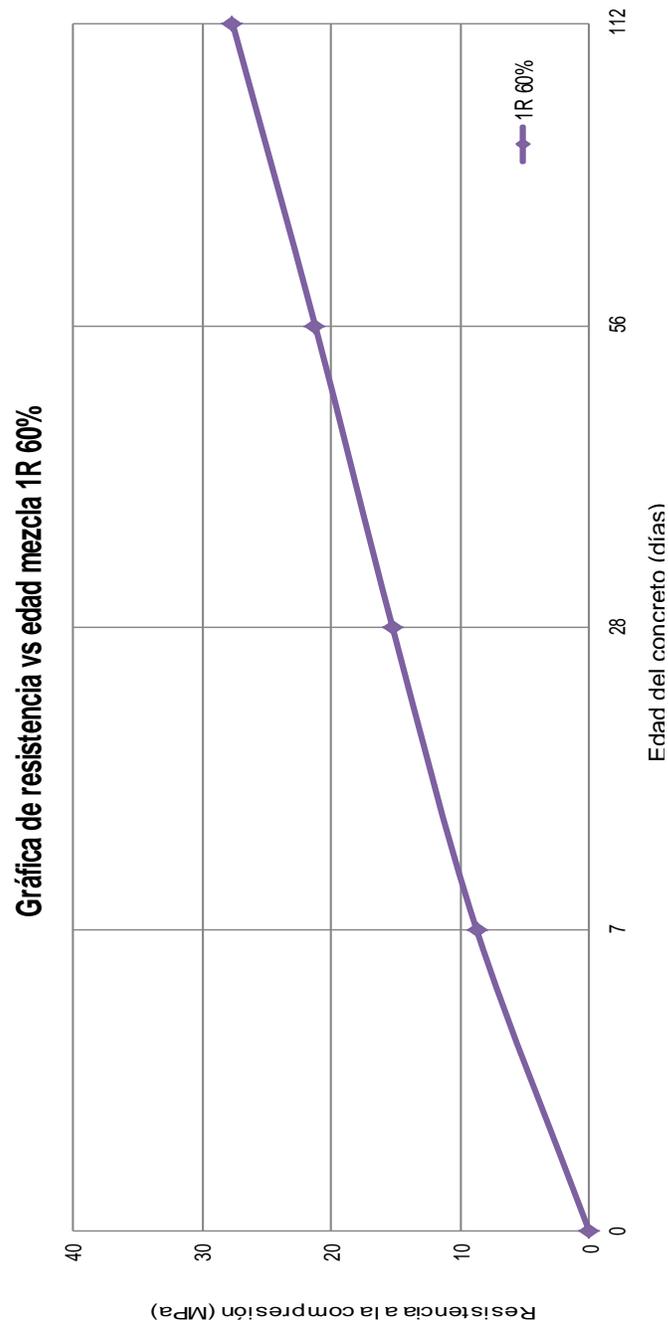
Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.



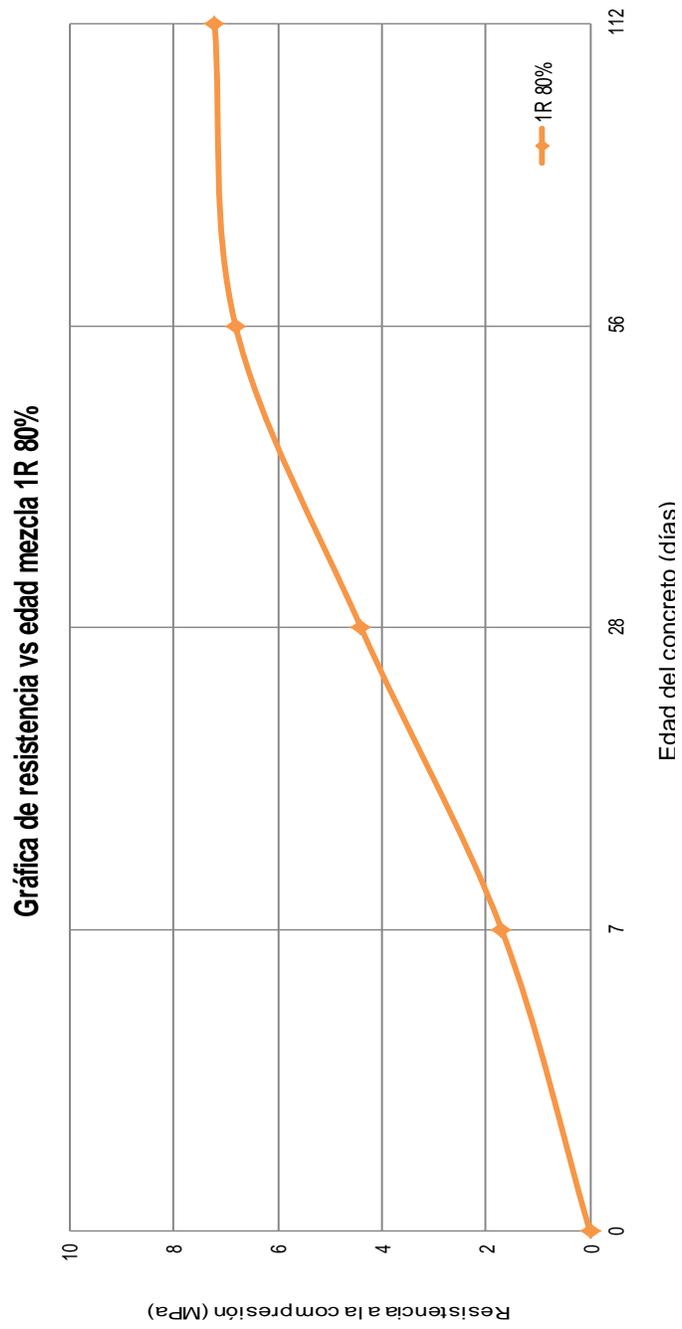
Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.



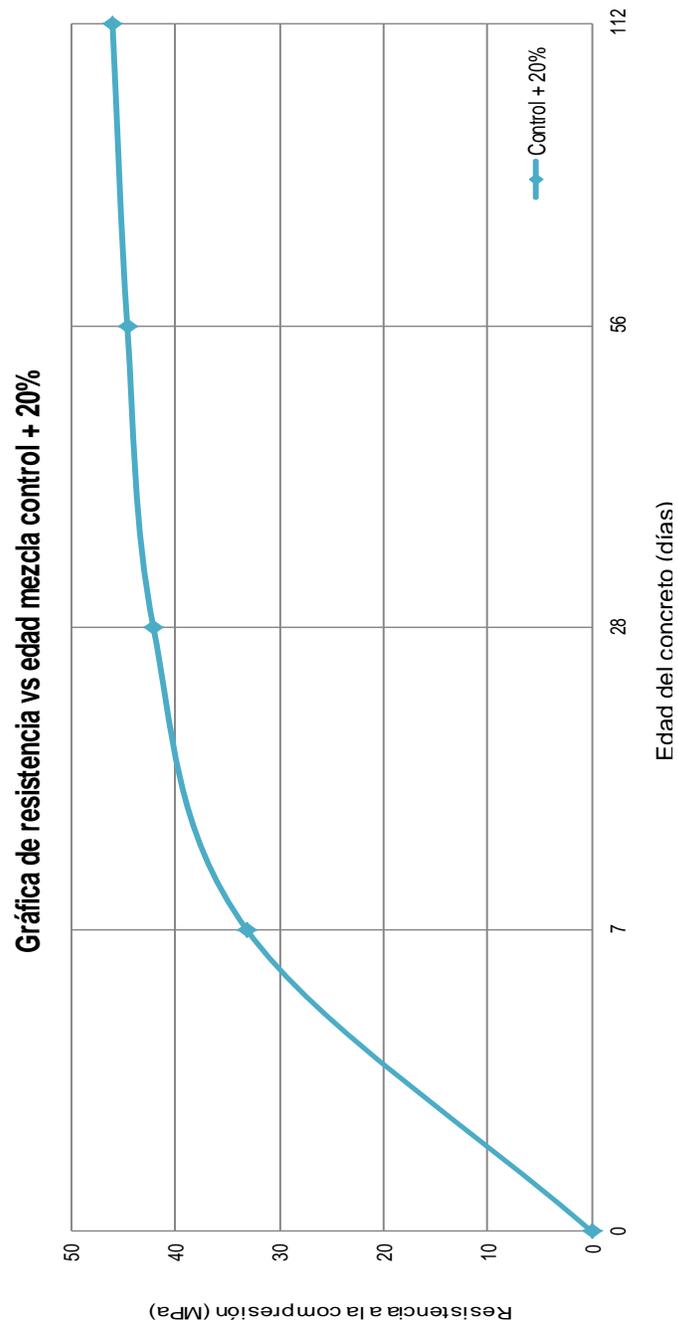
Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 2.



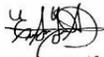
Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado de calidad cemento CFB

		Certificado No.	
PLANTA SAN MIGUEL	Material: Cemento CFB	Fecha Impresión:	
Período de Producción:		Del 03/06/2013 al 09/06/2013	
<u>REQUERIMIENTOS QUÍMICOS</u>			
Variable	Límite Espec.	Resultados del Test	
		Promedio	Desv. Estándar
Óxido de Silicio (SiO ₂) %	N/A		
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) %	N/A		
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃) %	N/A		
Óxido de Calcio (CaO) %	N/A		
Óxido de Magnesio (MgO) %	N/A	4.8800	0.1800
Pérdida de Fuego (PF) %	N/A	3.2500	0.1800
Otros Elementos			
Trióxido de Azufre (SO ₃) %	N/A	2.8900	0.0700
Óxido de Potasio (K ₂ O)	N/A		
Óxido de Sodio (Na ₂ O) %	N/A		
Residuo Insoluble (RI) %	N/A	10.6900	1.0200
<u>REQUERIMIENTOS FÍSICOS</u>			
Variable	Límite Espec.	Resultados del Test	
		Promedio	Desv. Estándar
Fineza 45um (retenido) %	N/A	95.3800	1.6100

Continuación anexo 1.

Expansión en autoclave %	0.80 max.	0.1100	0.0200
Contracción en autoclave %	0.20 max.		
Contenido de Aire (volumen) %	12 max.		
Resistencia a la compresión (psi)			
1 día	1740 min.	3059.6700	113.0500
3 días	3480 min.	4283.5000	114.7200
7 días	5800 min. *	5078.6700	116.6600
28 días	N/A	6231.6700	216.2900
Tiempo de Fraguado			
Vicat Inicial (minutos)	45 min. - 420 max.	149.0000	31.1100
Expansión de mortero en barras % 14 días	0.020 max.		
Blaine (cm2/g)	N/A	4026.8300	85.5700
OBSERVACIONES:			
* Especificaciones no normativas.			
Saul Loaiza		SAUL LOAIZA	 Lic. Edgar Saúl Loaiza Salguero QUÍMICO Colegiado No. 1579
ELABORÓ NOMBRE Y FIRMA		APROBÓ NOMBRE Y FIRMA	
<p>N/A = NO Aplica</p> <p>Nosotros certificamos que el cemento descrito, en el tiempo de despacho indicado, cumple con los requerimientos químicos y físicos de la norma ASTM C-1157 y COGUANOR NTG 41 095, dependiendo el tipo de cemento.</p>			

Fuente: Cementos Progreso. Certificado de calidad de cemento CFB. Período de producción, marzo 2013.



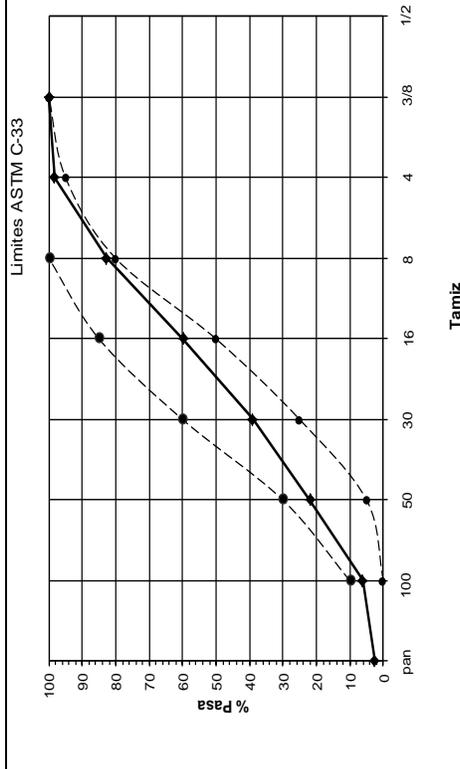
**ANÁLISIS FÍSICO DE AGREGADO
AGREGADO FINO**

PRE-CC-RE-05

INFORME No. _____
 MUESTRA: Arena Mezclada
 FECHA: may-13
 DESCRIPCIÓN DEL INFORME: _____
 Imer _____

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL AGREGADO	
Peso Específico	2.59
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1324.3
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1470.48
Porcentaje de Vacíos	-
Porcentaje de Absorción	0.49
Contenido de Materia Orgánica	0
Pasa Tamiz 200	2.66
Humedad	1.00%
Módulo de Finura	2.92

Observaciones: _____

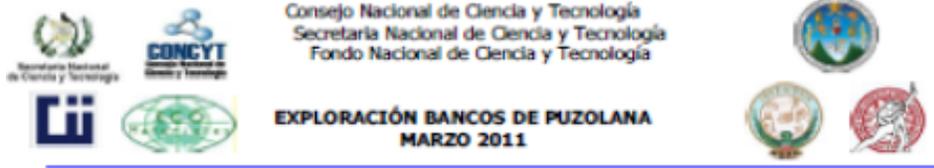


Tamiz No.	3/8	4	8	16	30	50	100	Pan
% Pasa	100.00	98.44	82.87	59.87	39.11	21.87	6.30	2.66
% Retenido Acum	0.00	1.56	17.13	40.13	60.89	78.13	93.70	97.34

PreCon
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
 V. B. Arq. Jorge Luis Arevalo López
 Jefe de Laboratorio de Concreto
 Colegiado No. 4285
 Certificado ACI No. 01218701 / 01211159

Fuente: PreCon. Analisis físico de agregado fino, mayo 2013.

Anexo 5. Exploración de banco de puzolana 1R 1,5



FECHA: 25 de marzo de 2011

NOMBRE DE LOS EXPLORADORES	Ingeniero civil:	Javier Quiñonez
	Ingeniero civil infieri:	Victor Rosales
	Ingeniero civil infieri:	Luis Ochoa

NOMBRE DEL BANCO	El Rancho (1R)
COORDENADAS	Longitud: W90° 01' 12.6" Latitud: N14° 54' 46.4"
ALTITUD (msnm)	350
No. DE FOTOGRAFÍAS	J 1-9
Referencia del lugar:	Km. 84

OBSERVACIONES CON RESPECTO DEL MAPA GEOLÓGICO:	

OTRAS OBSERVACIONES:	Capa rosada expuesta con una altura Aproximadamente de 4 m. sobre la superficie fácilmente extraíble. En la Parte superior hay sedimentos, capas que oscilan entre 0.5 y 2 m.

Fuente: Rosales, Victor. *Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala*. p. 142.

Anexo 5. **Certificado de calidad aditivo MegaFlow**



**LIMITES DE CONTROL DE CALIDAD EN LA FABRICACION DE:
MEGAFLOW**

(Reductor de Agua de Alto Rango)

Certificamos que MEGAFLOW tiene los siguientes limites de Control de Calidad dentro de los parámetros indicados abajo:

Fechas: 2013-2014

<u>Parámetros</u>	<u>Resultados de Pruebas</u>	<u>Especificaciones</u>
Gravedad Especifica	1.210	1.190 - 1.210
Contenido de Sólidos	42.1	40.3% - 42.1%
Contenido de Cloruro	City Water	<500 ppm
Ph	8.92	7 - 10
Color	Café Oscuro	

Sometido por:

INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.



Joaquin Torres - P.E., Miembro-Gerente

- Member:
- American Concrete Institute, Organizational Member
 - American Society for Testing and Materials
 - American Society of Civil Engineers, Life Member
 - College of Professional Engineers and Land Surveyors of P.R.
 - National Ready Mixed Concrete Association
 - American Society of Concrete Contractors



INTERNATIONAL MATERIALS INDUSTRIES, L.L.C.
2800 N. JOHNSON ST. * NEW ORLEANS, LOUISIANA 70117 * PHONE: (504) 267-3344 * Fax: (504) 267-3345

Fuente: PreCon. Certificado de calidad aditivo Megaflow. Período de producción, 2013.