



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

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA
FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**

Daniel Alejandro Mendoza Estrada

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, Octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA
FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DANIEL ALEJANDRO MENDOZA ESTRADA

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López.

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 MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 8 de septiembre de 2015.



Daniel Alejandro Mendoza Estrada



Guatemala, 06 de julio de 2016


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 MATERIAL VOLCÁNICO IP PARA LA FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA”**, desarrollado por el estudiante universitario **Daniel Alejandro Mendoza Estrada**, quien contó con mi asesoría.

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

Atentamente,



Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Ingeniero Civil Colegiado No. 1941
Asesor



Más 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,
18 de agosto de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos


Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Daniel Alejandro Mendoza Estrada quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil José Gabriel Ordóñez Morales
Asesor y Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.

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





El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónes de la Cruz y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Daniel Alejandro Mendoza Estrada, titulado **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2016
/mrrm.

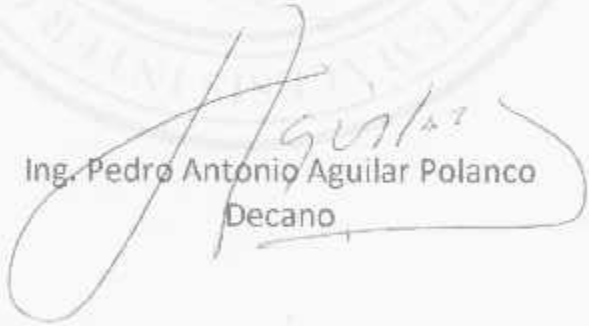
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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 MATERIAL VOLCÁNICO 1P PARA LA FABRICACIÓN DE UN CEMENTO DE MAMPOSTERÍA**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Alejandro Mendoza Estrada**, 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, octubre de 2016

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por estar a mi lado motivándome en los momentos más difíciles.
- Mis padres** Norman Mendoza y Blanca Estrada. Por sus consejos y apoyo incondicional.
- Mi esposa** Paola Godínez de Mendoza. Su paciencia y compañía han sido mi inspiración.
- Mis hijos** James y Norman. Su presencia angelical fortalece mi superación.
- Mis amigos** Danilo Montenegro y Walter Irías. Su influencia me permitió confiar en mis habilidades.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por enseñarme los conocimientos que ha atesorado durante siglos.
Facultad de Ingeniería	Por canalizar mí formación en los ámbitos de la ingeniería por medio de su estructura académica.
Mis amigos de la Facultad	Nery De León y Adrián Rodas. Por su apoyo y ejemplo.
Mi asesor	Ing. Javier Quiñonez. Por compartir sus conocimientos y tener la paciencia para enseñarme uno de los senderos de mi profesión.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Definición de puzolana	1
1.1.1. Definición	1
1.1.2. Tipos de puzolana	2
Puzolana natural.....	3
Puzolana Artificial	3
1.1.3. Características de puzolanas de origen volcánico....	3
1.2. Metales pesados.	4
1.2.1. Contaminación de las canteras de material volcánico.....	4
1.2.2. Recomendaciones para materiales volcánicos que contienen metales pesados	6
1.2.3. Lixiviación de metales pesados	7
1.3. Puzolanas en Guatemala	9
1.3.1. Breve reseña histórica	9
1.3.2. Geología	10
1.3.3. Índice de reactividad mecánica del material volcánico.....	12

1.3.4.	Características físicas del material volcánico de Palencia.....	14
2.	METODOLOGÍA	15
2.1.	Materiales.....	15
2.1.1.	Material volcánico 1P	15
2.1.1.1.	procedencia.....	15
2.1.1.2.	Preparación del material volcánico.....	16
2.1.2.	Cemento de alta resistencia (5 800psi)	18
2.2.	Ensayos físicos para muestras de cemento de mampostería propuesto	19
2.2.1.	Determinación de la finura (tamiz 325).....	19
2.2.1.1.	Descripción.....	19
2.2.1.2.	Equipo	20
2.2.1.2.1.	Máquina Micron Air Jet Sieve.....	20
2.2.1.2.2.	Balanza	20
2.2.1.3.	Procedimiento	21
2.2.2.	Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. <i>Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles</i>	22
2.2.2.1.	Descripción.....	22
2.2.2.2.	Equipo	22
2.2.2.2.1.	Aparato de Agujas de Gílmore	22
2.2.2.3.	Procedimiento.	23
2.2.3.	Determinación de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 <i>Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement</i>	

	<i>Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)</i> y COGUANOR NTG 41003 h4.....	24
2.2.3.1.	Descripción.....	24
2.2.3.2.	Equipo.....	24
2.2.3.2.1.	Moldes.....	24
2.2.3.2.2.	Probetas.....	25
2.2.3.2.3.	Mezcladora, Tazón y Paleta.....	26
2.2.3.2.4.	Apisonador.....	26
2.2.3.2.5.	Espátula.....	27
2.2.3.2.6.	Cámara de humedad.....	27
2.2.3.2.7.	Cámara de inmersión.....	28
2.2.3.2.8.	Arena estándar.....	29
2.2.3.3.	Procedimiento.....	29
2.2.4.	Determinación de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 <i>Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters</i>	31
2.2.4.1.	Descripción.....	31
2.2.4.2.	Equipo.....	31
2.2.4.2.1.	Pisón.....	31
2.2.4.2.2.	Enrasador.....	32
2.2.4.2.3.	Mesa de flujo.....	32
2.2.4.2.4.	Mezclador.....	32
2.2.4.3.	Procedimiento.....	33
2.2.5.	Determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM C 185-08 <i>Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar</i> y COGUANOR NTG 41003 h3.....	35

2.2.5.1.	Definición.....	35
2.2.5.2.	Equipo	35
2.2.5.2.1.	Mezcladora.....	35
2.2.5.2.2.	Medidor	36
2.2.5.2.3.	Mesa de flujo	36
2.2.5.2.4.	Probeta graduada de vidrio	36
2.2.5.3.	Procedimiento	37
2.2.6.	Determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.....	39
2.2.6.1.	Definición.....	39
2.2.6.2.	Equipos	40
2.2.6.2.1.	Moldes.....	40
2.2.6.2.2.	Máquina de Autoclave.....	40
2.2.6.2.3.	Comparador de longitud.....	41
2.2.6.3.	Procedimiento	41
2.2.7.	Ensayo de distribución de partículas.....	42
2.3.	Ensayos para material volcánico molido	43
2.3.1.	Análisis de composición química del material volcánico molido.....	43
2.3.2.	Análisis mineralógico de la muestra de material volcánico molido.....	45
2.4.	Variables de las muestras cemento de mampostería de material volcánico combinadas con cemento de 5800 PSI.	46
3.	RESULTADOS.....	47
3.1.	Resultados de ensayos realizados al material volcánico molido.....	47
3.1.1.	Fluorescencia de Rayos X.....	47
3.1.2.	Difracción de Rayos X.....	47

3.2.	Resultados de los ensayos físicos realizados a las muestras de cemento de mampostería propuestos.....	49
3.2.1.	Resultado del ensayo de determinación de la finura (tamiz 325).....	49
3.2.2.	Resultado del ensayo de determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. <i>Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles</i>	49
3.2.3.	Resultado del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) y COGUANOR NTG 41003 h4.....	50
3.2.4.	Resultado del ensayo de determinación de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 <i>Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters</i>	51
3.2.5.	Resultado del ensayo de determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM C 185-08 <i>Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar</i> y COGUANOR NTG 41003 h3	52
3.2.6.	Resultado del ensayo de determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.	53

3.2.7.	Resultado del ensayo de ensayo de distribución de partículas.....	53
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	57
	CONCLUSIONES.....	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	APÉNDICES.....	69
	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Figura 1.	Ubicación de canteras	5
2.	Figura 2.	Placas tectónicas de la región guatemalteca.....	10
3.	Figura 3.	Distribución del material volcánico de Guatemala ..	12
4.	Figura 4.	Banco de material volcánico 1P.....	16
5.	Figura 5.	Secado del material volcánico 1P.....	17
6.	Figura 6.	Tamizado del material volcánico.....	17
7.	Figura 7.	Molienda del material volcánico.....	18
8.	Figura 8.	Cemento estructural (5 800psi).....	19
9.	Figura 9.	<i>Micron Air Jet Sieve</i>	20
10.	Figura 10.	Balanza.....	21
11.	Figura 11.	Aparato de Agujas de Gílmores.....	22
12.	Figura 12.	Determinación de tiempo de fraguado.....	23
13.	Figura 13.	Moldes de metal	25
14.	Figura 14.	Probetas de vidrio	25
15.	Figura 15.	Mezcladora	26
16.	Figura 16.	Apisonador.....	27
17.	Figura 17.	Cámara de Humedad	28
18.	Figura 18.	Cámara de inmersión	28
19.	Figura 19.	Cálculo de flujo	30
20.	Figura 20.	Fraguado y endurecimiento	31
21.	Figura 21.	Mesa de flujo	32
22.	Figura 22.	Preparación de cama de mortero	33
23.	Figura 23.	Aparato de succión	34
24.	Figura 24.	Flujo después de la succión.....	35
25.	Figura 25.	Medidor.....	36
26.	Figura 26.	Probeta graduada de vidrio	37
27.	Figura 27.	Cálculo de la densidad del cemento	38

28.	Figura 28.	Moldes para ensayo de expansión.....	40
29.	Figura 29.	Autoclave.....	41
30.	Figura 30.	Máquina para Ultrasonificar.....	42
31.	Figura 31.	Máquina de distribución de partículas	43
32.	Figura 32.	Cristalización del material volcánico 1P	44
33.	Figura 33.	Máquina de Fluorescencia de Rayos X.....	44
34.	Figura 34.	Difractometro de Rayos X	45
35.	Figura 35.	Gráfica del Difractometro de rayos X	48
36.	Figura 36.	Forma de partículas de las muestras	55

I.	Tabla I. Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud.....	6
II.	Tabla II. Máximas concentraciones permisibles en los lixiviados de TLCP. (EPA, 1992)	8
III.	Tabla III. Índice de reactividad mecánica del material volcánico según su reactividad.	13
IV.	Tabla IV. Características físicas del material volcánico 1P	14
V.	Tabla V. Proporciones utilizadas para las muestras de cemento de mampostería.....	46
VI.	Tabla VI. Características químicas del material volcánico 1P (composición química)	47
VII.	Tabla VII. Características mineralógicas del material volcánico 1P (composición cristalina).....	48
VIII.	Tabla VIII. Resultado del ensayo de determinación de la finura tamiz 325 (% retenido)	49
IX.	Tabla IX. Resultado del ensayo de determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. <i>Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles</i>	50
X.	Tabla X. Resultado del ensayo de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 <i>Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)</i> y COGUANOR NTG 41003 h4	51
XI.	Tabla XI. Resultado del ensayo de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 <i>Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters</i>	52
XII.	Tabla XII. Resultado del ensayo de determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM	

	C 185-08 <i>Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar y</i> COGUANOR NTG 41003 h3	52
XIII.	Tabla XIII. Resultado del ensayo de determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.	53
XIV.	Tabla XIV. Resumen análisis de las muestras en micras	54
XV.	Tabla XV. Tabla de circularidad de las partículas de las muestras de mortero.....	55
XVI.	Tabla XVI. Requisitos físicos para la aprobación de un cemento de mampostería.	58
XVII.	Tabla XVII. Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo N	59
XVIII.	Tabla XVIII. Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo S	60
XIX.	Tabla XIX. Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo M.....	61

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<	Menor que
>	Mayor que
%	Tanto por ciento
As	Arsénico
Ba	Bario
B	Boro
cc	Centímetros cúbicos
Cd	Cadmio
Cm	Centímetros
Cn	Cianuro
g	Gramos
Km	Kilómetro
Km³	Kilómetros cúbicos
Cr	Cromo
L	Litros
Hg	Mercurio
in	pulgada
mg	Miligramos
min	Minutos
ml	Mililitros
mm	Milímetros
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
Mpa	Mega pascales

N	Norte
NO3	Nitrato
NO2	Nitrito
Pb	Plomo
psi	Libras por pulgada cuadrada
Se	Selenio
W	Oeste
°C	Grados centígrados
µm	Micrómetro

GLOSARIO

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
Aglomerante	Material que tiene cualidades físicas para unir elementos.
Cocción	Alteración física de materiales por medio de alta temperatura.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
EPA	<i>Environmental Protection Agency.</i>
<i>Fly Ash</i>	Material de escoria de altos hornos.
Mampostería	Elementos utilizados en la construcción.
Máquina Micron Air Jet Sieve	Máquina para realizar tamizado por medio de un chorro de aire.
Puzolana	Material de origen volcánico.
Rocas Ígneas	Rocas formadas por la solidificación del magma.
TCLP	<i>Toxicity Characteristic Leaching Procedure.</i>

UGC

Uso general en la construcción.

Zeolitización

Proceso de los materiales para adquirir propiedades similares a las zeolitas.

RESUMEN

En este informe de trabajo de graduación se hizo una evaluación experimental para la proposición de cemento de mampostería. Se elaboraron tres muestras que están a una concentración variable de material volcánico. La muestra M1 tuvo una concentración de 60% de material volcánico y 40% de cemento de 5800 PSI, la muestra M2 una concentración de 40% de material volcánico y 60% de cemento de 5800 PSI, la última muestra una concentración del 20% de material volcánico y 80% de cemento de 5800 PSI.

Las muestras antes mencionadas fueron sometidas a ensayos para verificar si cumplen los requerimientos físicos de la norma COGUANOR NTG 41096. Los ensayos que se realizaron son los siguientes: fineza, resistencia a la compresión, expansión al autoclave, fraguado, contenido de aire, retención de agua y distribución de partículas. Adicionalmente se les hicieron ensayos químicos y mineralógicos para determinar si el material que se trabajó es de calidad.

Finalmente se determinó si las muestras propuestas en este informe de trabajo de graduación cumplen con todos los requerimientos para ser propuestas como cemento de mampostería, haciendo una comparación de los resultados obtenidos con la tabla de requerimientos físicos que aparece en la norma COGUANOR NTG 41096 en el inciso 5.1.

OBJETIVOS

General

Evaluar experimentalmente el efecto de la sustitución de cemento de 5800 PSI por material volcánico procesado, con el propósito de proponer la fabricación de cemento de albañilería que satisfaga los requerimientos de la Norma ASTM C91/C91M-12.

Específicos

1. Verificar el tipo de clasificación de cemento de mampostería que se puede dar a los aglomerantes, según las recomendaciones de la Tabla No.1 Requerimientos Físicos de la Norma ASTM C91/C91M-12.
2. Evaluar el comportamiento mecánico de las tres muestras según su contenido químico.
3. Constatar la calidad del material volcánico según su contenido mineralógico.

INTRODUCCIÓN

En la última década la producción del cemento a nivel mundial se ha incrementado de manera significativa y a su vez la contaminación ambiental. Debido a esto se buscan alternativas que disminuyan el efecto al medio ambiente. La franja volcánica ubicada en Guatemala contiene numerosos bancos de materiales volcánicos que según estudios realizados recientemente cumplen con las características físicas, mecánicas, químicas y mineralógicas para ser utilizados en la industria del cemento.

La optimización del uso de cemento en construcciones de bajo costo por medio de la utilización de materiales volcánicos podría ser una alternativa que reduzca la contaminación, debido a que su procesamiento es menos perjudicial en el medio ambiente. Esto también permitirá contribuir con el desarrollo rural dando la posibilidad de crear microempresas y/o negocios familiares comercializando aglomerantes a base de material volcánico.

En este trabajo se realizó una evaluación experimental para proponer un aglomerante de material volcánico combinado con cemento de 5800 PSI que tenga características mecánicas más eficientes que el cemento UGC en trabajos de mampostería. Se fabricaron tres muestras de aglomerante sustituyendo el cemento de 5800 PSI en proporciones de 20%, 40% y 60% de su peso seco con material volcánico procesado proveniente del banco de material ubicado en el Km 22 de la ruta Palencia denominado 1P. Posteriormente se realizaron ensayos de fineza, tiempo de fraguado, resistencia a la compresión y retención de agua.

Finalmente se verificaron las recomendaciones de la Norma ASTM C91/C91M-12 "*Standard Specification for Mansory Cement*", para comprobar si los aglomerantes propuestos cumplen con las mismas y si puede ser factible su uso como cemento de mampostería.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Definición de puzolana

La puzolana es un material de origen volcánico para uso industrial, es incorporado al cemento como una adición mineral. Puede ser incorporado en distintas proporciones con el fin de brindarle algunas propiedades al cemento, entre las cuales está la trabajabilidad, durabilidad, resistencia al intemperismo, entre otras.

Los materiales de origen volcánico han pasado por un proceso de cocción natural debido a la actividad volcánica, poseen un alto contenido de vidrio, su composición química es de silicio y aluminio principalmente. Estos materiales tienen un estado de reactividad que varía según la calidad y la procedencia de los mismos.

1.1.1. Definición

El término puzolana inicialmente se le dio a la ceniza volcánica proveniente de la población de Puzzuoli situada en las faldas del volcán Vesubio en Italia, donde era utilizada por los romanos con fines de construcción.

La Civilización romana fue la que descubrió todo el potencial que estos materiales podían ofrecer. Uno de los mejores exponentes que se pueden encontrar es el Panteón de Roma, construido en el año 123, fue durante 1 500 años la mayor cúpula construida, y con sus 43,3 metros de diámetro aún mantiene records como ser la mayor construcción de hormigón no armado que existe en el mundo. Esta

construcción fue realizada mezclando cal, puzolana y agua; añadiendo en las partes inferiores ladrillos rotos a modo de los actuales áridos, aligerando el peso en las capas superiores usando materiales más ligeros como piedra pómez y puzolana no triturada.¹

En la actualidad el término puzolana se le da a todo material proveniente de actividad volcánica.

Las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos, compuestos principalmente, por aluminosilicatos, a partir de los cuales se producía históricamente el cemento, desde la era romana hasta la invención del cemento Portland en el siglo XIX. Estos materiales poseen poca o ninguna propiedad cementante, sin embargo, al pasar por algún proceso físico o químico y mezclado con agua y cal, da lugar a una nueva formación de compuestos estables con características cementantes, es decir capaces de desarrollar resistencia por endurecimiento hidráulico.²

1.1.2. Tipos de puzolana

Según su origen la puzolana se puede clasificar en dos grupos. El primero de ellos es puzolana natural, este tipo de puzolana es proveniente de erupciones volcánicas y que han pasado por un proceso natural de cocción; el segundo es puzolanas artificiales que se producen debido a tratamientos térmicos realizados por el hombre a materiales naturales tales como, la arcilla y rocas silíceas, con el propósito de brindarles propiedades especiales para ser utilizadas como adiciones minerales incorporándolas al cemento.

¹ QUIÑÓNEZ, L. 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. p. 22.

² *Ibíd.*

Puzolana natural

Como ya se ha dicho los materiales puzolánicos naturales son conformados por rocas y arena volcánica con altos contenidos de silicio y aluminio ideal para la zeolitización y cementación, pero también hay puzolanas naturales de origen sedimentario. “Las rocas sedimentarias que son consideradas como puzolanas naturales tienen un origen submarino que por acumulación de algas diatomeas y esqueletos de animales, acumularon grandes cantidades de sílice hidratada”³.

Puzolana Artificial

Son materiales que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de estas denominaciones se incluyen los subproductos de determinadas denominaciones industriales, entre estas están las cenizas volantes, también conocidas como *fly ash*. En la actualidad son las de mayor uso a nivel mundial en función de sus ventajas económicas y técnicas que ofrecen, ya que es un material de desecho y los cementos aumentan la trabajabilidad y disminuyen el calor de hidratación, porque son muy buenas puzolanas. Las cenizas volantes se producen en la combustión de carbón mineral, fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.⁴

1.1.3. Características de puzolanas de origen volcánico

Existe una gran variedad de rocas a las que se les puede llamar puzolanas de origen volcánico, por lo que es conveniente hacer estudios de todas sus características, estudios recientes indican que la estructura física de las puzolanas a nivel macro es muy parecida, ya que no varían

³ ROSALEZ, Víctor. Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala. p. 51.

⁴ *Ibíd.*

significativamente en densidad, granulometría, superficie específica, pérdida de ignición y fineza. Sin embargo, las características micro-estructurales de estos materiales si varían y son muy importantes a la hora de ser utilizadas en el cemento.

Las características micro-estructurales de los materiales volcánicos son todas aquellas que nos indican la composición química y la composición mineralógica, estas indican que tipo de compuestos químicos contiene y sus porcentajes, también indican exactamente qué tipo de material se está tratando.

Desde el punto de vista de la industria del cemento es muy importante conocer la composición mineralógica ya que al explotar las canteras de material volcánico existe el riesgo que puedan contener metales pesados dañinos para cemento o para las personas que lo utilicen.

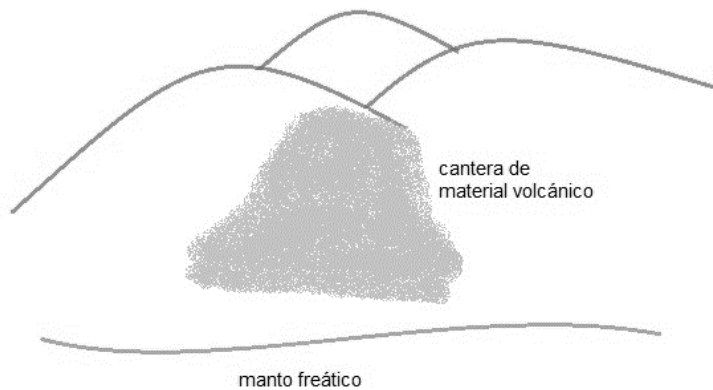
1.2. Metales pesados.

Los metales pesados son compuestos naturales que se encuentran en el mar y en el suelo, estos compuestos no pueden ser degradados o destruidos por lo que en ciertas cantidades son tóxicos, ya que, si un humano los ingiere, el organismo no puede digerirlos, lo cual es causa de enfermedades o envenenamiento.

1.2.1. Contaminación de las canteras de material volcánico

Las canteras de material volcánico se encuentran antes del manto freático y al pie de las montañas, por su ubicación se puede considerar un punto vulnerable para contener metales pesados y óxidos que son dañinos para las personas o para el cemento.

Figura 1. **Ubicación de canteras**



Fuente: elaboración propia.

Los metales que son dañinos por lo regular tienen un PH mayor que 6 y menor que 9 esto hace que sean considerados partículas móviles. Por acción del ciclo hidrológico estas partículas se lavan y a través del tiempo se transportan hasta acumularse en un material que las retenga como lo son las arcillas y las puzolanas, dando como resultado un material contaminado. Los metales pesados como el arsénico se presenta en formaciones de líneas irregulares parecidas a las venas, por lo que se deben realizar numerosos estudios para determinar qué tan contaminada puede estar una cantera de material volcánico.

Los metales pesados más comunes encontrados en materiales volcánicos son los siguientes:

- **Arsénico:** es un mineral que se encuentra en el medio ambiente en muchas formas, se considera más peligroso en su forma inorgánica⁵.

⁵ AGENCY for Toxic Substances and Disease Registry. Plomo. www.atsdr.cdc.gov.

- Plomo: Es un metal suave y maleable, es muy tóxico en su forma orgánica ya que el cuerpo humano lo absorbe con mucha facilidad⁶.
- Mercurio: es un metal pesado que se puede combinar con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u óxido para formar compuestos inorgánicos como sales, polvos y gases⁷

1.2.2. Recomendaciones para materiales volcánicos que contienen metales pesados

La norma COGUANOR NTG 29001 hace mención de los metales antes mencionados en referencia a los límites permisibles en los que estos metales se pueden encontrar en el agua potable como se puede observar en la Tabla I.

Tabla I. **Relación de las sustancias inorgánicas cuya presencia en el agua es significativa para la salud**

Substancia	LMP (mg/L)
Arsénico (As)	0,010
Bario (Ba)	0,700
Boro (B)	0,300
Cadmio (Cd)	0,003
Cianuro (CN ⁻)	0,070
Cromo total (Cr)	0,050
Mercurio total (Hg)	0,001
Plomo (Pb)	0,010
Selenio (Se)	0,010
Nitrato (NO ₃ ⁻)	50,000
Nitrito (NO ₂ ⁻)	3,000

Fuente: elaboración propia, Norma COGUANOR NTG 29001.

⁶ AGENCY for Toxic Substances and Disease Registry. Plomo. www.atsdr.cdc.gov.

⁷ Ibid..

Estos metales pesados son inestables ya que se pueden convertir en gases, sales, óxidos y otros, debido a esto, la norma también indica que los metales pesados también pueden ser perjudiciales si existe contacto con la piel. Es recomendable verificar si estos metales pueden llegar a perjudicar a las personas teniendo un contenido más alto de lo especificado en la Tabla I en los materiales volcánicos que son utilizados como adición mineral en el cemento.

1.2.3. Lixiviación de metales pesados

Es importante determinar si un material volcánico contaminado que es utilizado como adición mineral en el cemento, tiene la capacidad de retener los metales pesados en sí mismo para no afectar a las personas que puedan vivir en edificaciones construidas con estos materiales. Para esto se realiza la prueba de lixiviación.

La prueba de lixiviación según EPA “es un método que determina la movilidad de los minerales tóxicos desde un residuo hacia el exterior, ya sean compuestos orgánicos o inorgánicos. La movilidad se determina con el contacto del material volcánico o material de residuo *fly ash* con líquidos de extracción”⁸.

Torres Agredo, Trochez Serna, & Mejía de Gutiérrez Afirman que el ensayo de lixiviación para muestras de mortero endurecido según Norma EPA 1311 es el siguiente:

Para el ensayo TCLP (Ensayo de lixiviación a materiales de construcción propuesto por EPA), una vez cumplido el tiempo de curado de los morteros, se reduce el tamaño de partícula de estos hasta aproximadamente 1,00 cm de diámetro. Seguidamente se realiza el procedimiento descrito en la norma, para la determinación del fluido extractor. Se selecciona el fluido No. 1, el cual puede ser una solución compuesta de ácido acético glacial y de

⁸ EPA. EPA EE.UU. 1311 *Toxicity characteristic Leaching Procedure*. p. 1.

hidróxido de sodio, diluida a un volumen de 1 L con agua destilada. Según la norma (EPA, 1992), la cantidad de fluido de extracción debe ser 20 veces el peso de la muestra; por lo cual, se toman las cantidades necesarios, y se agitan por un tiempo aproximado de 18 ± 2 horas a una temperatura de $22 \pm 3^\circ\text{C}$. Al finalizar este procedimiento, se realiza una filtración por medio de un filtro de vidrio de un tamaño efectivo de poro de $0,7(\mu\text{m})$; posteriormente se acidifican cada uno de los extractos, con ácido nítrico hasta un pH de 2,0. Este líquido, es el extracto de TLCP, al cual se le hacen los análisis correspondientes. La determinación de metales pesados, se realiza por medio de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica. En caso de ser lantano se aplica la técnica de Fluorescencia de Rayos X⁹.

Las cantidades permisibles de metales pesados que pueden contener las muestras de material volcánico son mayores a las permisibles en el agua potable. Después del proceso de lixiviación las cantidades máximas que pueden contener se describen en la Tabla II.

Tabla II. **Máximas concentraciones permisibles en los lixiviados de TLCP. (EPA, 1992)**

Metales	Concentración permisible (mg/L)
Cr	5,0
Pb	5,0
As	5,0
Ba	100,0
Cd	1,0
Hg	0,2
Se	1,0
Ag	5,0

Fuente: Elaboración propia, TLCP Norma EPA 1311.

⁹ TORRES, J., TROCHEZ, J., & Mejía, R. Reutilización de un residuo de la industria. pp. 141 – 156.

1.3. Puzolanas en Guatemala

1.3.1. Breve reseña histórica

La producción de cemento con adiciones minerales por medio de materiales volcánicos ha tenido lugar en Guatemala a principios de los años 90s, según normativos internacionales se estableció que las mezclas de materiales volcánicos con puzolana estuviera en menos del 16%, actualmente se ha sobrepasado esa cantidad ya que se ha ido perfeccionando la preparación de estos materiales.

La principal investigación se realizó en los años 1988-1993, conjuntamente con el Departamento de Materiales de la Universidad de Calgary y apoyados por el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá. En ese proyecto se estableció que Guatemala cuenta con un potencial recurso de origen volcánico que puede ser utilizado como adiciones en la producción de cemento y experimentación realizada en la Universidad de Calgary evidenció que los materiales volcánicos de Guatemala pueden ser de buena reactividad, cuestión que se recomendó estudiar con mayor detalle¹⁰.

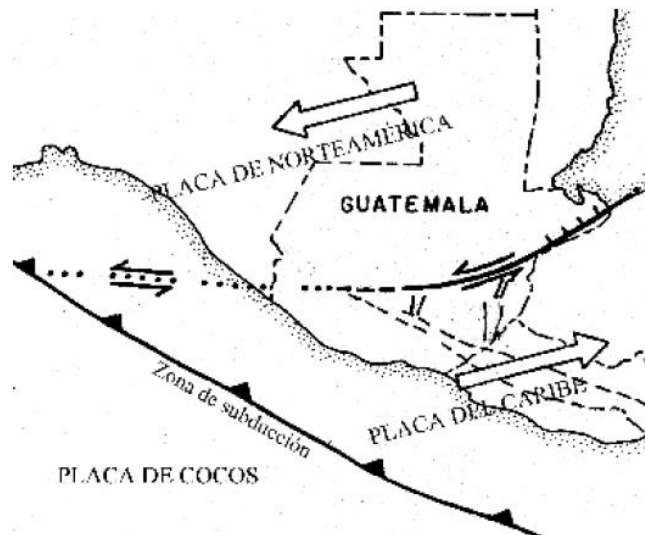
El proyecto FODECYT 023-2010 cuyo investigador principal es el Ing. Javier Quiñónez Publicado en el 2013, representa un avance muy importante para la industria del cemento ya que se identifican diez bancos de material volcánico de muy buenas características físicas, químicas, mineralógicas y buen índice de reactividad puzolana. Por otra parte, se realiza un estimado del volumen de las cantidades de material volcánico que podrían estar disponibles en los diferentes bancos de material, la cual asciende a 270,02 Km³.

¹⁰ QUIÑÓNEZ, F. Informe final de proyecto FODECYT No. 023-2010. p. 2.

1.3.2. Geología

Guatemala está ubicada entre tres placas tectónicas las cuales son la placa de Cocos, placa Norteamericana y placa del Caribe, esto la convierte en una región con gran actividad volcánica como se puede observar en la Figura 2, el resultado de esto es un área con una gran cantidad de material volcánico. En la última década la región oriental del país ha sido producto de muchas investigaciones acerca del material volcánico en esa zona, los resultados han sido satisfactorios en función de su aceptación como adición mineral para el cemento; sin embargo, ¿Cómo influyen los factores geológicos antes mencionados en la calidad del material volcánico de Guatemala?, la respuesta a esta interrogante es la acción del Cinturón Volcánico de Guatemala.

Figura 2. Placas tectónicas de la región guatemalteca



Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.html>. Octubre 2015

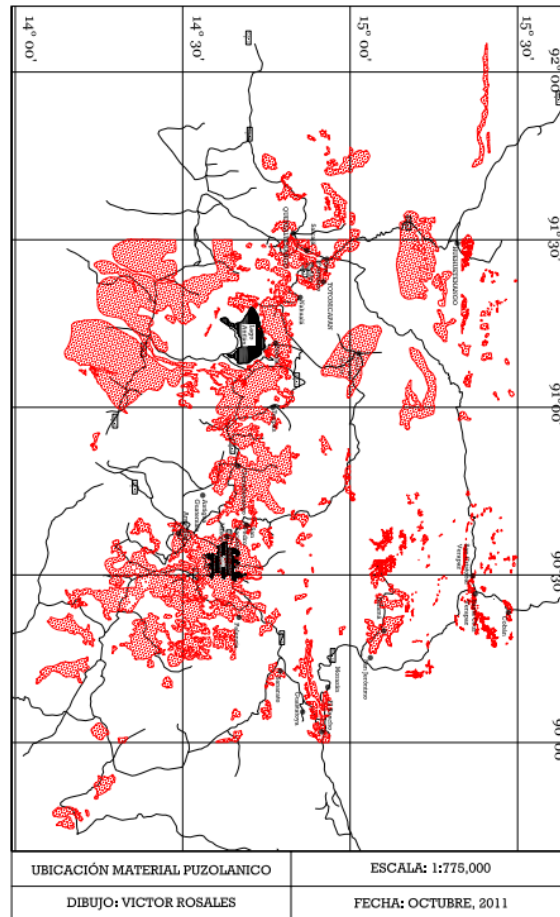
El Cinturón Volcánico con la cadena de volcanes Cuaternarios y activos se localizan en la orilla sureste teniendo del oeste sur oeste hacia el este sur este. En el oeste termina en la frontera mexicana. En el este se extiende en la misma dirección hacia El Salvador. Algunos de los conos y domos guatemaltecos están activos como los volcanes de Santiaguito, Fuego y Pacaya. El Cinturón Volcánico está formado por volcanes de hasta 4 000 metros de altura, se elevan desde la Planicie Costera. Sobre los edificios volcánicos y hacia el norte de los mismos se extiende el área de vulcanismo Terciario conteniendo grabens rellenados con pómez¹¹.

La mayor parte del material volcánico que se puede encontrar en Guatemala es debido a la actividad del Cinturón Volcánico ya que la concentración de volcanes permite que el magma llegue en mayores cantidades a la superficie terrestre. Rosales Rivas (2012) indica que el material volcánico inicialmente son rocas fundidas a temperaturas de hasta 1 500 °C que en el interior de la tierra son conocidas como magma, estas son llevadas a la superficie terrestre por medio de erupciones volcánicas o fisuras, al estar en la superficie terrestre se le llama lava y por medio de procesos de enfriamiento se forman las rocas ígneas extrusivas.

Este tipo de rocas ígneas son las que en su mayoría se convierten en el material volcánico de mejor calidad en nuestra región. La distribución del material volcánico en Guatemala se puede apreciar en la Figura 3.

¹¹ QUIÑÓNEZ, F. Informe final de proyecto FODECYT No. 023-2010. p. 45.

Figura 3. **Distribución del material volcánico de Guatemala**



Fuente: Rosales Rivas, Víctor Rafael. Geología y caracterización física de puzolanas de la zona Oriental de Guatemala, Anexos.

1.3.3. Índice de reactividad mecánica del material volcánico

Una de las formas más confiables para determinar la calidad del material volcánico es por medio de su índice de reactividad mecánica, este índice brinda una manera simple de determinar si puede ser utilizado como una adición

mineral en el cemento. La clasificación de los materiales volcánicos según su índice de reactividad mecánica se puede observar en la Tabla III.

Tabla III. **Índice de reactividad mecánica del material volcánico según su reactividad.**

Clasificación	Resistencia a la compresión (Mpa)
muy inactiva	<1,4
Inactiva	1,4-2,8
pobrementemente activa	2,8 - 4,1
Intermedia	4,2-5,6
activa	5,6-6,9
muy activa	>6,9

Fuente: elaboración propia, Day Robert. *Pozzolans in use for low-cost housing*. p.34.

Esta tabla es un claro ejemplo de cómo se puede deducir la calidad de un material volcánico por medio del análisis de su macro-estructura, ya que, si un material es de clasificación activa o muy activa podemos deducir que la micro-estructura o composición química del material contiene rangos aceptables de silicio, aluminio o aluminio-silicio. Estos elementos antes mencionados se pueden encontrar en un rango mayor al 70% en materiales volcánicos de buena calidad.

1.3.4. Características físicas del material volcánico de Palencia

El proyecto FODECYT 023-2010 ha realizado estudios para determinar la calidad del material volcánico de diez bancos. Entre los que se pueden mencionar el material volcánico de Palencia denominado 1P.

Las características físicas de este material han sido objeto de estudio de la Universidad de San Carlos de Guatemala en los últimos años, Las principales características se pueden observar en la Tabla IV.

Tabla IV. **Características físicas del material volcánico 1P**

Características	Datos
Superficie Específica (cc/g)	5 086,00
Peso Específico (g/cc)	2,38
Pérdida Ignición (%)	2,47
Fineza (cantidad que pasa por el tamiz 325 en %, cuando el material ha sido molido)	99,60

Fuente: Elaboración propia, Proyecto FODECYT 230-2010.

2. METODOLOGÍA

Para elaborar las muestras de cemento de mampostería propuestas en este trabajo de graduación se utilizaron los siguientes materiales.

2.1. Materiales

2.1.1. Material volcánico 1P

El material volcánico que se utilizó fue denominado con las siglas 1P para identificar el banco de material volcánico que se encuentra en el municipio de Palencia. Este banco ha sido producto de estudios en los últimos años, principalmente en el proyecto FODECYT 023-2010 “DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE REACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE DIEZ BANCOS DE LA FRANJA VOLCÁNICA DE GUATEMALA PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO”.

2.1.1.1. procedencia

El material volcánico 1P fue extraído de un banco de material volcánico en el municipio de Palencia, los datos exactos del lugar son las siguientes:

- Lugar: Km. 22 carretera departamental 6, CA9 – municipio de Palencia, departamento de Guatemala.
- Coordenadas Geográficas: N 14°41'52.44”; W 90°22'21.84”.
- Altura: 989 m.s.n.m.
- Descripción del sitio: Montaña parcialmente derrumbada con arena limosa color blanco con rocas relativamente pequeñas de pómez. Esta

descripción corresponde a documentación fotográfica presentada en la Figura 4.

Figura 4. **Banco de material volcánico 1P**



Fuente: Km. 22 carretera departamental, CA-9 - municipio de Palencia.

2.1.1.2. Preparación del material volcánico

La preparación del material se realizó con un procedimiento muy sencillo, que se describe a continuación:

- Secado: el material se puso al sol por 6 horas para eliminar la humedad contenida.

Figura 5. **Secado del material volcánico 1P**



Fuente: Sección de eco-materiales, Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

- Tamizado: El material fue tamizado con el tamiz $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Figura 6. **Tamizado del material volcánico**



Fuente: Sección de eco-materiales, Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

- Molienda: el material fue molido por 3 horas en la máquina de molienda marca Patterson, serie No. 6675-64.

Figura 7. **Molienda del material volcánico**



Fuente: Sección de eco-materiales, Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.1.2. Cemento de alta resistencia (5 800psi)

El cemento utilizado fue el Cemento Estructural, que posee una resistencia mínima de 5 800psi.

Figura 8. **Cemento estructural (5 800psi)**



Fuente: http://guatemala-gt-city.all.biz/cemento-estructural-g3092#.Vjjob_5MjGY. Consulta: noviembre de 2015.

2.2. Ensayos físicos para muestras de cemento de mampostería propuesto

2.2.1. Determinación de la finura (tamiz 325)

Se determinó la finura de las muestras por medio del tamizado por chorro de aire *Micron Air Jet Sieve*.

2.2.1.1. Descripción

Este es un ensayo realizado para determinar la cantidad de porcentaje de material que pasa a través del tamiz No. 325, tomando en cuenta un coeficiente de calibración del equipo utilizado. El porcentaje que pasa es la finura del material.

2.2.1.2. Equipo

2.2.1.2.1. Máquina Micron Air Jet Sieve

Esta máquina utiliza un chorro de aire que mueve las partículas para determinar de una mejor manera las partículas de material que pasan a través del tamiz que necesitamos.

Figura 9. ***Micron Air Jet Sieve***



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.1.2.2. Balanza

La balanza utilizada para este ensayo es de alta precisión y se muestra en la Figura 10.

Figura 10. **Balanza**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.1.3. Procedimiento

Para realizar esta finura se pesaron 5 gramos de muestra de cemento para colocarlos en la máquina de chorro de aire, se dejó trabajar por cinco minutos y se pesó la muestra que no pasó por el tamiz 325 de la máquina. Teniendo los datos de lo que sobró de la muestra se dividió dentro de los 5 gramos y se multiplicó por un factor de 150, el resultado se restó dentro de 100 para obtener la finura del material.

2.2.2. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles*

2.2.2.1. Descripción

Este ensayo consiste en determinar los tiempos tomados en minutos, en los que las muestras de cemento alcanzan el fraguado inicial y el fraguado final.

2.2.2.2. Equipo

2.2.2.2.1. Aparato de Agujas de Gílmore

Es un aparato con dos agujas las cuales se dejan caer en la muestra de mortero, una de las agujas determina el fraguado inicial y la otra determina el fraguado final.

Figura 11. **Aparato de Agujas de Gílmore**

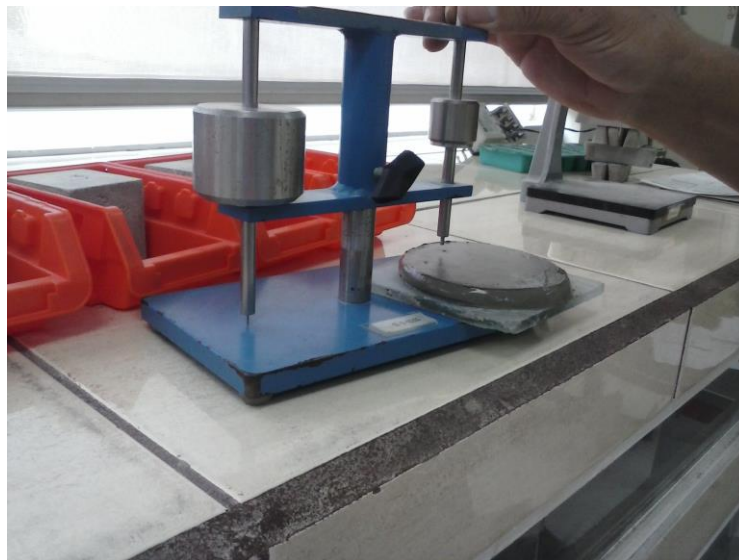


Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.2.3. Procedimiento.

Se preparó una mezcla de cemento en la cual se tomó el tiempo al momento de agregar el agua, se elaboró una torta de 1 centímetro de alto. Luego se procedió a verificar el fraguado soltando la aguja del fraguado inicial sobre la torta cada 15 minutos, en el momento que la aguja quedó en la superficie de la torta se detuvo el tiempo. El tiempo de fraguado se calculó desde que se agregó agua a la mezcla hasta que la aguja quedó en la superficie de la torta. Este procedimiento se puede realizar de manera simultánea con la aguja del fraguado final.

Figura 12. **Determinación de tiempo de fraguado**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.3. Determinación de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)* y COGUANOR NTG 41003 h4

2.2.3.1. Descripción

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, utilizando especímenes cúbicos de 2 pulgadas o 50 milímetros, Como se indica en inciso 1.1 de la norma COGUANOR NTG 41003 h4.

2.2.3.2. Equipo.

2.2.3.2.1. Moldes

Molde de tres compartimientos fabricado de un material de metal duro con una dureza no menor de 55 HRB, son de caras planas y ajustadas herméticamente a las dimensiones de la norma, para que los cubos tengan la medida exacta y presentan un resultado satisfactorio en función de la precisión de sus resultados. Por lo general estos moldes se ajustan con una serie de pernos los cuales ayudan a resistir la expansión que puedan sufrir los materiales utilizados en las muestras.

Figura 13. **Moldes de metal**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.2. Probetas

Se utilizaron probetas de vidrio de diferentes precisiones, una con 5 ml de incerteza y la otra con 1ml de incerteza.

Figura 14. **Probetas de vidrio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.3. Mezcladora, Tazón y Paleta

Mezcladora de tres velocidades, tazón de aluminio y paleta la cual son parte de la misma máquina como se ve en la Figura 15. Tiene una capacidad de 4 litros y cumple con los requerimientos de la norma ASTM C 305-11 *Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of plastic Consistency*.

Figura 15. Mezcladora



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.4. Apisonador

El apisonador utilizado fue de goma color negro con dimensiones de $\frac{1}{2}$ x 1 x 6 pulgadas.

Figura 16. **Apisonador**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.5. Espátula

Espátula de acero inoxidable con mango de madera.

2.2.3.2.6. Cámara de humedad

La cámara de humedad utilizada cumple con todos los requerimientos de la norma COGUANOR NTG 41059. Cuartos de mezclado, gabinetes húmedos, cuarto húmedos y tanques de almacenamiento de agua usados en los ensayos de cementos hidráulicos y concretos. Esta cámara mantiene un 95% de humedad en toda su superficie interior y una temperatura de 23 °C. Los materiales utilizados para fabricar esta cámara son vidrio y plástico, sellados herméticamente, la estructura metálica interna fue cubierta por una capa de pintura anticorrosiva para que resista las condiciones internas de humedad.

Figura 17. **Cámara de Humedad**



Fuente: Sección de eco-materiales, Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.7. Cámara de inmersión

Se utilizó un recipiente de plástico con agua a un nivel de 7 centímetros de agua combinada con cal, la cual tuvo una proporción de 3 gramos por litro. En su interior se colocó un motor el cual mantenía el agua en movimiento.

Figura 18. **Cámara de inmersión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.3.2.8. Arena estándar

Para este ensayo se utilizaron dos tipos de arena estándar los cuales se describen a continuación.

- Arena estándar 20-30: esta arena no pasa por ningún procedimiento químico, simplemente esta graduada de manera que pase por el tamiz 20 quede retenida en el tamiz 30.
- Arena estándar de sílice: esta arena tiene una alta composición de cuarzo y sus partículas tienen una forma casi circular.

2.2.3.3. Procedimiento.

El procedimiento que se siguió según la norma COGUANOR NTG 41003 h4 para este ensayo y se detalla en tres pasos, preparación de la mezcla, colocación en los moldes y procedimiento de fraguado; la descripción de los mismos se puede observar a continuación:

- Preparación de la mezcla: Para la preparación de la mezcla se utilizó una proporción de 2,75 partes de arena estándar en la cual 50% es de arena estándar de sílice y 50% arena estándar graduada 20-30. La relación agua cemento se determinó por medio del ensayo de flujo, en donde el flujo de los 4 diámetros debe ser de 110 +/- 5, este ensayo de flujo debe ser realizado lo más rápido posible, para que no hayan cambios de humedad significativos que afecten los resultados del ensayo.

Figura 19. **Cálculo de flujo**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

- Colocación en los moldes: Teniendo la mezcla preparada, se procedió a colocar en los moldes. Primero llenado los moldes a 1 pulgada y después realizar 16 apisonamientos en forma ordena, este mismo procedimiento se realizó para la segunda ronda. Finalmente se realizó un razado con la espátula. Los cubos se sacaron de los moldes a las 48 horas después.
- Procedimiento de Fraguado: después de encofrados los cubos fueron colocados en la cámara de humedad donde estuvieron 2 días, luego de ser desencofrados se colocaron 1 día más en la misma. Finalmente los cubos se colocaron en la cámara de inmersión hasta el día en que fueron ensayados. Los ensayos fueron en a las edades de 7, 28 y 56 días.

Figura 20. **Fraguado y endurecimiento**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.4. Determinación de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 *Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters*

2.2.4.1. Descripción

El ensayo de retención de agua permite verificar si los aglomerantes de la mezcla de mortero sometidos a succión tienen la propiedad de retener el agua.

2.2.4.2. Equipo

2.2.4.2.1. Pisón

Este aparato que es utilizado para compactar la cama de mortero en el disco perforado.

2.2.4.2.2. Enrasador

Este instrumento permite nivelar el material suelto para darle a la mezcla una superficie uniforme.

2.2.4.2.3. Mesa de flujo

La mesa de flujo es utilizada para determinar la relación agua cemento de una mezcla. En el ensayo de retención de agua es muy importante ya que se utiliza antes y después de pasar por el aparato de succión.

Figura 21. **Mesa de flujo**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

2.2.4.2.4. Mezclador

El mezclador fue descrito en el inciso 2.2.3.2.3 de este trabajo de graduación.

2.2.4.3. Procedimiento.

El procedimiento realizado para determinar la retención de agua del aglomerante es el siguiente:

- Se elaboró una mezcla especial para determinar el ensayo de flujo inicial siguiendo los requerimientos de la norma ASTM C 780 para un flujo de 110 ± 5 , después que se determinó el flujo inicial se procedió a colocar la misma mezcla en un disco metálica perforado como se muestra en la Figura 22.

Figura 22. Preparación de cama de mortero



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

- Se colocó en la máquina de succión durante 1 min graduándola a una presión de 7 Kpa según los requerimientos de la norma como se puede observar en la Figura 23.

Figura 23. **Aparato de succión**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. Centro operativo La Pedrera, Zona 6, Ciudad de Guatemala.

- Una vez terminado este procedimiento se realizó nuevamente el ensayo de flujo según los requerimientos de la norma ASTM C 780 para determinación de flujo, el cual se tomó como flujo final. Finalmente se determinó el porcentaje de retención de agua con la relación entre el flujo inicial y flujo final. Este mismo procedimiento se realizó para las tres muestras de cemento de mampostería propuestas. La fórmula para la determinación de retención de agua se puede observar a continuación.

$$\text{Retención de agua} = \frac{\text{flujo final}}{\text{flujo inicial}} * 100$$

Figura 24. **Flujo después de la succión**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.5. Determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM C 185-08 *Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar* y COGUANOR NTG 41003 h3

2.2.5.1. Definición

Este ensayo es utilizado para determinar el contenido de aire de un mortero para verificar si cumple con los parámetros de incorporación de aire del cemento hidráulico.

2.2.5.2. Equipo

2.2.5.2.1. Mezcladora

El mezclador fue descrito en el inciso 2.2.3.2.3 de este trabajo de graduación.

2.2.5.2.2. Medidor

Es un cilindro metálico con un volumen conocido de 400 mililitros, tiene un diámetro interior de 76 milímetros.

Figura 25. **Medidor**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.5.2.3. Mesa de flujo

El mezclador fue descrito en el inciso 2.2.4.2.3 de este trabajo de graduación.

2.2.5.2.4. Probeta graduada de vidrio

La probeta de vidrio graduada a cada 2 mililitros y con una capacidad de 250 mililitros, esta escala le permite ver con facilidad los cambios de volumen que puedan haber durante el ensayo.

Figura 26. **Probeta graduada de vidrio**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.5.3. Procedimiento

El procedimiento que se utilizó para determinar el contenido de aire del aglomerante fue el siguiente:

- **Determinación del peso:** Se elaboró la muestra de mortero con 1 200 gramos de arena estándar 20-30 y 350 gramos de la muestra de aglomerante, Esta muestra se realizó para un flujo de $87,5 \pm 7,5\%$. Al obtener esta mezcla se colocó en el cilindro metálico de volumen conocido como se ve en la Figura 26 y se tomó el peso de la mezcla contenida.
- **Determinación de la densidad del aglomerante:** Se determina la densidad del aglomerante introduciendo 50 gramos de aglomerante seco en la

probeta graduada de vidrio de 250 mililitros. Se debe esperar el tiempo que sea necesario hasta que el cemento esté reposado en el fondo de la probeta. La densidad se obtiene con la relación del peso del cemento y el volumen desplazado de agua en la probeta.

Figura 27. **Cálculo de la densidad del cemento**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

- Cálculo del contenido de aire: el contenido de aire lo obtenemos con la siguiente fórmula:

$$\text{Contenido porcentual de aire} = 100 - (1 - W_a/W_c)$$

Donde:

W_a = Masa real por unidad de volumen, $w/400$ (w es el peso obtenido de la mezcla de material en el recipiente cilíndrico de 400 mililitros).

W_c = Masa teórica por unidad de volumen, calculada en basa libre de aire, como sigue y usando los valores de cantidades de materiales y sus densidades relativas.

$$W_c = \frac{350 + 1400 + (350 \times P \times 0.01)}{\frac{350}{D_c} + \frac{1400}{2.65} + \frac{350 \times P \times 0.01}{1}}$$

Donde:

P = Porcentaje de agua de la mezcla.

D_c = Densidad de la muestra de aglomerante.

2.2.6. Determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.

2.2.6.1. Definición

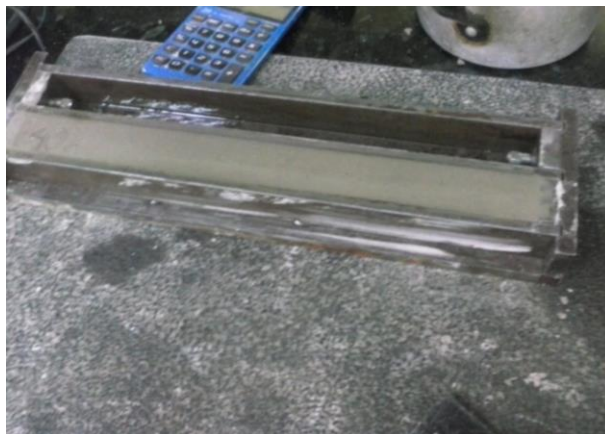
Esta norma permite verificar los índices de expansión de un espécimen de pasta de cemento hidráulico endurecido al ser sometido al autoclave. Estos índices pueden ser negativos según el material que se este ensayando ya que el autoclave puede provocar que los materiales se expandan o se contraigan.

2.2.6.2. Equipos

2.2.6.2.1. Moldes

Los moldes utilizados para este ensayo se pueden observar en la Figura 28 y tiene dimensiones interiores de 25 milímetros cuadrados de sección y longitud de 10 pulgadas.

Figura 28. **Moldes para ensayo de expansión**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.6.2.2. Máquina de Autoclave

Contiene una cámara de vapor de agua de alta presión en su interior, con un compartimiento donde se puede introducir un termómetro para controlar su temperatura. Controla la presión automáticamente y esta reforzado con una rótula que resiste 2,4 megapascales de presión.

Figura 29. **Autoclave**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.2.6.2.3. Comparador de longitud

Es una estructura de varillas de acero que sostiene los especímenes y nos permite medir sus respectivas longitudes antes y después del proceso de autoclave.

2.2.6.3. Procedimiento

Se realizó una pasta de cemento con la muestra de aglomerante, la cual se colocó en los moldes y se dejó endurecer por 24 horas. Se retiraron los especímenes de los moldes y se tomó la medida de referencia en el medidor. Finalmente se colocaron en la máquina de autoclave para realizar una

exposición a presión de vapor de agua de 6 horas, una vez terminado el procedimiento se toma la medida final y se compara con la medida inicial para verificar la expansión.

2.2.7. Ensayo de distribución de partículas

El ensayo de distribución de partículas se realizó por medio de la máquina *Particle Shape Analyzer* marca *Particulate Systems*.

Para realizar este ensayo se tomó 5 gramos de la muestra de cemento la cual se disolvió en agua en un pequeño contenedor, este contenedor se colocó en la máquina *Ultrasonic Cleaning System* durante 5 minutos para que tenga una consistencia homogénea.

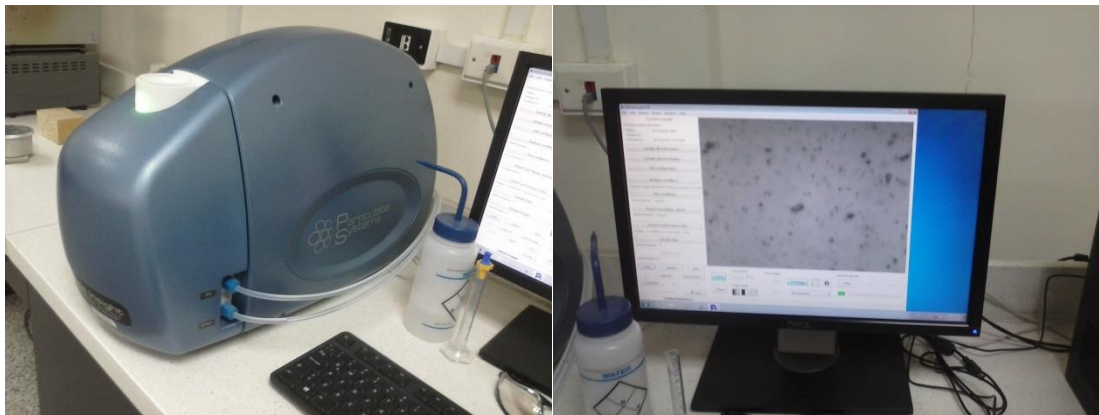
Figura 30. Máquina para Ultrasonificar



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

Finalmente se colocó en la máquina *Particle shape Analyzer* para determinar los tamaños de las partículas así fotografías a nivel microscópico de la forma de las mismas.

Figura 31. **Máquina de distribución de partículas**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

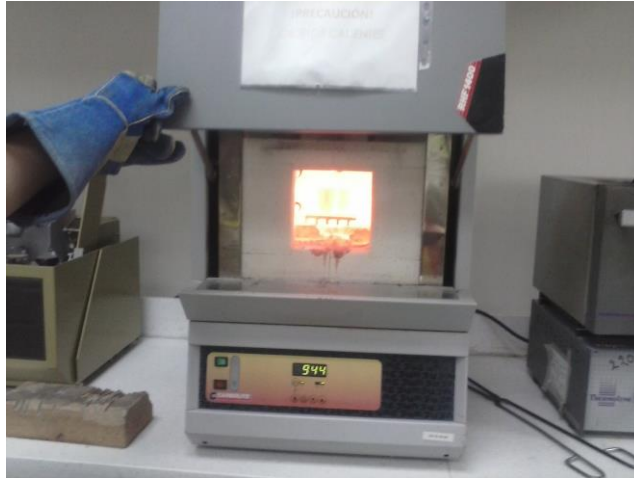
2.3. Ensayos para material volcánico molido

2.3.1. Análisis de composición química del material volcánico molido

Para determinar la composición química del material volcánico 1P se realizó el ensayo de Fluorescencia de Rayos X.

Este ensayo indicó una determinación de todos los compuestos químicos en porcentajes. Primero se realizó una cristalización de 5 gramos del material volcánico 1P por medio de una exposición de 3 horas a temperatura arriba de 900 °C como se puede observar en la Figura 30.

Figura 32. **Cristalización del material volcánico 1P**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

Posteriormente se realizó el análisis de composición química mediante la máquina de Fluorescencia de Rayos X marca *Thermo*.

Figura 33. **Máquina de Fluorescencia de Rayos X**



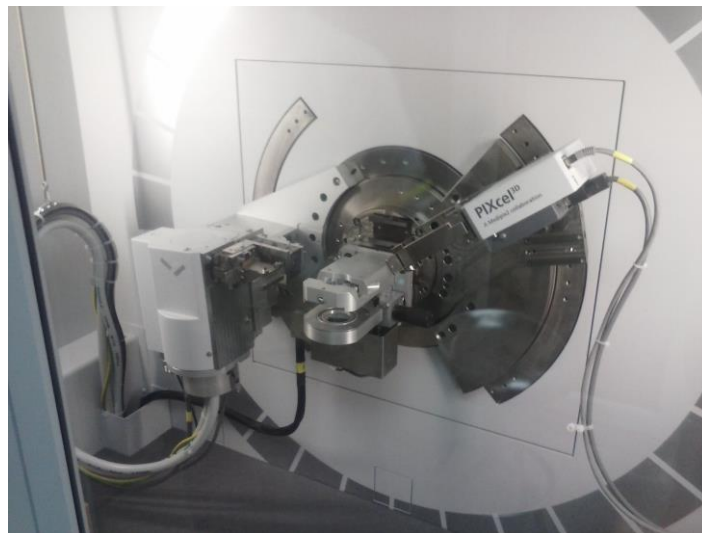
Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.3.2. Análisis mineralógico de la muestra de material volcánico molido

El análisis mineralógico fue realizado por medio del ensayo de Difracción de Rayos X.

Este ensayo indicó los minerales contenidos en la composición cristalina de una muestra de 3 gramos de material volcánico 1P, los mismos fueron expresados en porcentajes por medio del Difractómetro de Rayos X marca Panalytical Empireal.

Figura 34. Difractómetro de Rayos X



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La pedrera Zona 6, Ciudad de Guatemala.

2.4. Variables de las muestras cemento de mampostería de material volcánico combinadas con cemento de 5800 PSI.

Se utilizaron tres proporciones para obtener tres muestras de cemento de mampostería. Estas se presentan en la siguiente tabla.

Tabla V. **Proporciones utilizadas para las muestras de cemento de mampostería.**

Muestra	Contenido de Cemento de 5800 PSI (%)	Contenido de material volcánico 1P molido (%)
M1	40	60
M2	60	40
M3	80	20

Fuente: Elaboración propia. Laboratorio CETEC, Cementos Progreso.

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de ensayos realizados al material volcánico molido

3.1.1. Fluorescencia de Rayos X

El procedimiento para realizar este ensayo se describe en el inciso 2.3.1. Según el ensayo de Fluorescencia de Rayos X, las características químicas del material volcánico 1P se muestran en la Tabla VI.

Tabla VI. **Características químicas del material volcánico 1P
(composición química)**

Compuesto	Cantidad (%)
SiO ₂	73,02
Al ₂ O ₃	13,11
Fe ₂ O ₃	0,04
CaO	0,66
MgO	0,00
SO ₃	0,10
K ₂ O	3,47
Na ₂ O	3,99
LOI (950 °C)	3,03
Total	97,42

Fuente: elaboración propia, laboratorio CETEC, Cementos Progreso. La Pedrera zona 6.

3.1.2. Difracción de Rayos X

Este ensayo cuyo procedimiento se describe en el inciso 2.3.2 permitió determinar las características mineralógicas del material volcánico 1P y se

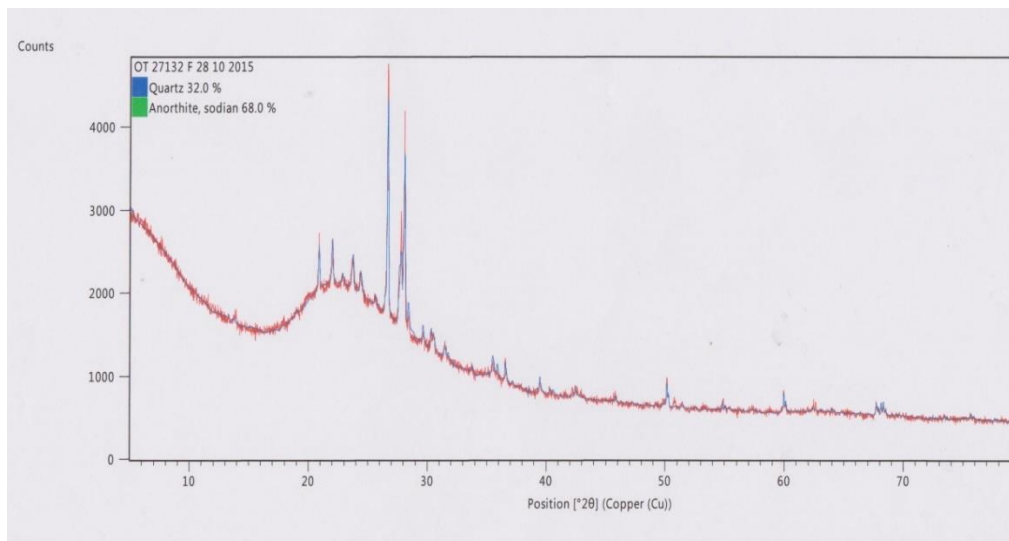
muestran en porcentajes del contenido cristalino, como se puede observar en la Tabla VII.

Tabla VII. **Características mineralógicas del material volcánico 1P (composición cristalina)**

Material	Contenido (%)	Mineral (%)	
		Cuarzo	6,4
Cristalino	20,00	Anortita sódica	13,6
		N/A	
Amorfo	80,00	N/A	

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

Figura 35. **Gráfica del Difractómetro de rayos X**



Fuente: Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2. Resultados de los ensayos físicos realizados a las muestras de cemento de mampostería propuestos

3.2.1. Resultado del ensayo de determinación de la finura (tamiz 325).

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.1 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Resultado del ensayo de determinación de la finura tamiz 325 (% retenido)**

Muestra	Fineza tamiz No. 325 (% retenido)
M1	17,17
M2	12,31
M3	7,65

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2.2. Resultado del ensayo de determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. *Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles*

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.2 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla IX.

Tabla IX. Resultado del ensayo de determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por las agujas de Gillmore. Norma ASTM C 266. Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles

Muestra	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
M1	240	339
M2	217	256
M3	152	287

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2.3. Resultado del ensayo de determinación de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) y COGUANOR NTG 41003 h4

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.3 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla X, y están ordenados según la muestra y las edades a las que fueron ensayadas las muestras, es importante mencionar que los resultados de compresión que se encuentran en la Tabla X son un promedio de tres ensayos a compresión realizados a cada edad de las muestras. Los ensayos de compresión fueron calculados en libras, sin embargo, la norma COGUANOR NTG 41096 requiere que las resistencias se calculen en megapascales, estos cálculos están en el Apéndice del presente informe de trabajo de graduación.

Tabla X. **Resultado del ensayo de la resistencia a la compresión. Norma ASTM C 109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) y COGUANOR NTG 41003 h4**

Muestra	Edad (días)	Resistencia promedio, 3 cubos (Mpa)
M1	7	8,30
	28	13,30
	56	17,63
M2	7	14,13
	28	23,10
	56	27,00
M3	7	15,8
	28	23,13
	56	24,83

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, USAC.

3.2.4. Resultado del ensayo de determinación de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 *Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters*

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.4 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla XI, los cuales están dados en porcentajes.

Tabla XI. **Resultado del ensayo de la retención de agua de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico. Norma ASTM C 1506 *Standard Test Method for Water Retention of Hydraulic Cement-Based Mortars and Plasters***

Muestra	Retención de agua (%)
M1	62
M2	63
M3	59

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2.5. Resultado del ensayo de determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM C 185-08 *Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar* y COGUANOR NTG 41003 h3

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.5 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla XII.

Tabla XII. **Resultado del ensayo de determinación del contenido de aire del mortero de cemento hidráulico. Norma ASTM C 185-08 *Test for Air Content in Hydraulic Cement Mortar* y COGUANOR NTG 41003 h3**

Muestra	Contenido de aire (%)
M1	9,95
M2	10,96
M3	8,84

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2.6. Resultado del ensayo de determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.6 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Resultado del ensayo de determinación de la expansión en autoclave. Norma COGUANOR NTG 41014 h1.**

Muestra	Expansión Autoclave (%)
M1	-0,09
M2	-0,04
M3	0,01

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

3.2.7. Resultado del ensayo de ensayo de distribución de partículas

El procedimiento realizado para este ensayo está descrito en el inciso 2.2.7 y los resultados obtenidos se muestran en la tabla XIV, todos los datos mostrados están en micras.

Tabla XIV. **Resumen análisis de las muestras en micras**

Resumen Análisis de las muestras (micras)			
Muestras	M1	M2	M3
Conteos	13,271	14,143	14,545
Tamaño mínimo	1.0	1.0	1.0
Tamaño máximo	79.6	64.4	60.8
Media	6.1	6.3	6.0
Desviación estándar	5.3	5.6	5.0
Moda	4.8	3.6	4.7
D1,0	6.1	6.3	6.0
D2,0	8.1	8.4	7.8
D3,0	10.5	10.9	9.7
D2,1	10.8	11.3	10.1
D3,2	17.5	18.1	15.2
D4,3	26.9	25.7	20.7

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, Centro de operaciones La Pedrera zona 6.

En la tabla XV se puede observar la distribución de partículas en porcentajes de 10, 25, 50,75, y 90, las dimensionales de los datos son dadas de la siguiente manera, números está dado en micras de metro, el dato de área está dado en micras cuadradas, por último el dato de volumen está dado en micras cubicas. Los datos descritos en esta tabla son estadísticos realizado por múltiples conteos de la máquina especializada llamada *Particle Shape Analyzer* marca *Particulate System* y con la máquina para disolver mezclas *Ultrasonic Cleaning System*.

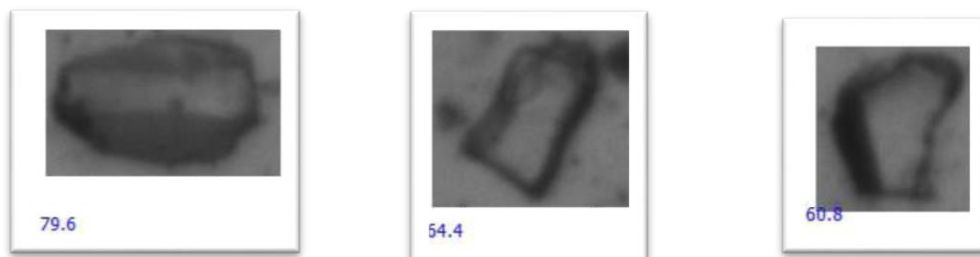
Tabla XV. **Tabla de circularidad de las partículas de las muestras de mortero**

Muestras	Porcentajes	Números	Área	Volumen
M1	10.00 %	1.5	5.4	8.6
	25.00 %	2.6	8.4	12.7
	50.00 %	4.6	13.3	18.8
	75.00 %	7.8	19.9	26.6
	90.00 %	12.2	27.4	34.6
M2	10.00 %	1.5	5.8	9.9
	25.00 %	2.6	9.3	15.0
	50.00 %	4.6	15.1	23.5
	75.00 %	8.0	24.3	33.7
	90.00 %	13.0	34.3	46.4
M3	10.00 %	1.4	5.7	9.4
	25.00 %	2.5	8.9	14.2
	50.00 %	4.6	14.3	21.8
	75.00 %	7.9	22.0	34.6
	90.00 %	12.6	32.8	49.4

Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

Por último se muestran las fotos captadas por el microscopio de la máquina las cuales permiten ver la forma de las partículas.

Figura 36. **Forma de partículas de las muestras**



Fuente: Elaboración Propia, Laboratorio CETEC, Cementos Progreso, La Pedrera zona 6.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo fundamental de esta investigación es determinar si se puede crear un cemento de mampostería por medio de la optimización del uso de cemento estructural combinándolo en diferentes porcentajes con material volcánico, por lo que se han analizado los resultados de los ensayos de requerimientos físicos de las muestras de cemento de mampostería propuestas. Para este análisis es necesario conocer la tabla descrita en la norma COGUANOR NTG 41096 –Cemento de Mampostería-, la cual indica los requerimientos físicos mínimos que debe cumplir un aglomerante para que pueda ser nombrado como cemento de mampostería. Si las muestras de cemento de mampostería propuestas cumplen con los requerimientos pueden ser utilizados para levantamiento de muros repellos enlucidos y revoques, los requerimientos físicos que la norma toma en cuenta son:

- Finura retenida en el tamiz 325 del material molido
- Expansión en autoclave
- Tiempo de fraguado
- Resistencia a la compresión
- Contenido de aire
- Retención de agua

Las mismas se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla XVI. Requisitos físicos para la aprobación de cemento de mampostería.

	N	S	M
Tipo de cemento de mampostería			
Finura, residuo de tamiz No. 325, Max, %	24	24	24
Expansión en autoclave, Max, %	1	1	1
Tiempo de fraguado, Método de Gilmore			
Fraguado inicial, min, no menor que:	120	90	90
Fraguado final, min, no mayor que:	1000	1000	1000
Resistencia a la compresión(prom. 3 cubos):			
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de una parte de cemento y 3 de arena estándar mezclada (mitad de arena estándar graduada y mitad de arena estándar de 20-30) por volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta especificación debe ser igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
7 días, Mpa	3,4	9	12,4
28 días, Mpa	6,2	14,5	20
contenido de aire del mortero preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta especificación:			
Mínimo, volumen, %	8	8	8
Máximo, volumen, %	21	19	19
Retención de agua, min % del flujo original:	70	70	70

Fuente: Elaboración Propia, Norma COGUANOR NTG 41096, inciso 5.1.

De acuerdo a la Tabla XVI hay tres tipos de cemento de mampostería. Se realizó un análisis de las propiedades físicas de las muestras de cemento de mampostería propuesto para verificar si pueden ser utilizados como cementos de mampostería de tipo N, S ó M.

Tabla XVII. **Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo N**

Muestras de cemento de mampostería propuestas, material volcánico, %	N	M1 60%	M2 40%	M3 20%
Finura, residuo de tamiz No. 325, max, %	24,0	17,2	12,3	7,7
Expansión en autoclave, max, %	1,0	0,1	0,0	0,0
Tiempo de fraguado, Método de Gilmore				
Fraguado inicial, min, no menor que:	120,0	240,0	217,0	152,0
Fraguado final, min, no mayor que:	1000,0	339,0	256,0	287,0
Resistencia a la compresión(prom. 3 cubos):				
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de una parte de cemento y 3 de arena estándar mezclada (mitad de arena estándar graduada y mitad de arena estándar de 20-30) por volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta especificación debe ser igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación:				
7 días, Mpa	3,4	8,3	14,1	15,7
28 días, Mpa	6,2	13,3	23,0	24,7
56 días, Mpa		17,6	26,9	23,0
contenido de aire del mortero preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta especificación:				
contenido de aire, volumen, %	8 a 19	10,0	11,0	8,8
Retención de agua, min % del flujo original:	70,0	62,0	63,0	59,0

Fuente: Elaboración Propia, -CII- Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Se puede observar en la Tabla XVII que las tres muestras cumplieron con todos los requerimientos físicos excepto el requerimiento de retención de agua ya que el requerimiento mínimo de retención de agua es de 70%. También se puede observar que los resultados no varían por más de 4% entre las muestras.

Tabla XVIII. **Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo S**

Muestras de cemento de mampostería propuestas, material volcánico, %	S	M1 60%	M2 40%	M3 20%
Finura, residuo de tamiz No. 325, max, %	24,0	17,2	12,3	7,7
Expansión en autoclave, max, %	1,0	0,1	0,0	0,0
Tiempo de fraguado, Método de Gilmore				
Fraguado inicial, min, no menor que:	90,0	240,0	217,0	152,0
Fraguado final, min, no mayor que:	1000,0	339,0	256,0	287,0
Resistencia a la compresión(prom. 3 cubos):				
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de una parte de cemento y 3 de arena estándar mezclada (mitad de arena estándar graduada y mitad de arena estándar de 20-30) por volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta especificación debe ser igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación:				
7 días, Mpa	9,0	8,3	14,1	15,7
28 días, Mpa	14,5	13,3	23,0	24,7
56 días, Mpa		17,6	26,9	23,0
contenido de aire del mortero preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta especificación:				
contenido de aire, volumen, %	8 a 21	10,0	11,0	8,8
Retención de agua, min % del flujo original:	70,0	62,0	63,0	59,0

Fuente: Elaboración Propia, -CII- Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

En la Tabla XVIII se puede observar que los requerimientos físicos de retención de agua tampoco se cumplen para ninguna de las tres muestras. Por otra parte la mezcla M1 no cumple con los parámetros de resistencia a la compresión de 7 días y 28 días ya que la norma exige una resistencia de 9,0 Mpa y 14,5 Mpa respectivamente, pero a la edad de 56 días la muestra M1 alcanza una resistencia de 17,6 Mpa.

Tabla XIX. **Verificación de las muestras para ser propuestas como cemento de mampostería tipo M**

Muestras de cemento de mampostería propuestas, material volcánico, %	M	M1 60%	M2 40%	M3 20%
Finura, residuo de tamiz No. 325, max, %	24,0	17,2	12,3	7,7
Expansión en autoclave, max, %	1,0	0,1	0,0	0,0
Tiempo de fraguado, Método de Gilmore				
Fraguado inicial, min, no menor que:	90,0	240,0	217,0	152,0
Fraguado final, min, no mayor que:	1000,0	339,0	256,0	287,0
Resistencia a la compresión(prom. 3 cubos):				
La resistencia a la compresión de cubos de mortero, compuesto de una parte de cemento y 3 de arena estándar mezclada (mitad de arena estándar graduada y mitad de arena estándar de 20-30) por volumen, preparados y ensayados de acuerdo con esta especificación debe ser igual o mayor a los valores especificados para las edades indicadas a continuación:				
7 días, Mpa	12,4	8,3	14,1	15,7
28 días, Mpa	20,0	13,3	23,0	24,7
56 días, Mpa		17,6	26,9	23,0
contenido de aire del mortero preparado y ensayado de acuerdo con los requisitos de esta especificación:				
contenido de aire, volumen, %	8 a 21	10,0	11,0	8,8
Retención de agua, min % del flujo original:	70,0	62,0	63,0	59,0

Fuente: Elaboración Propia, -CII- Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

En la Tabla XIX se puede observar que las tres muestras no cumplen con los requerimientos de retención de agua. La muestra M1 tampoco cumple con los requerimientos de resistencia a la compresión ni a una edad de 56 días.

CONCLUSIONES

1. La muestra M1 no cumple con la resistencia a la compresión ni con la retención de agua por lo que no puede ser nombrada cemento de mampostería; Las muestras M2 y M3 mostraron un buen comportamiento mecánico para ser nombradas cemento de albañilería del tipo N, S, ó M. Sin embargo, tampoco cumplen con los requerimientos físicos de retención de agua debido al alto contenido de material volcánico, por lo que no pueden ser propuestos como cemento de mampostería.
2. La muestra M2 contiene un 40% de material volcánico el cual a su vez contiene un 73,02% de sílice. El contenido de sílice en el material volcánico reflejó un aumento en la resistencia a los 56 días, dando como resultado a la mezcla M2 con el mejor desempeño a largo plazo, ya que, el sílice es uno de los principales compuestos químicos que contribuyen con el rendimiento de los morteros. La muestra M3 debido a que tiene un contenido de 80% de Cemento de 5 800 PSI posee la mayor resistencia a edades tempranas.
3. El 80% del material volcánico 1P es amorfo, por lo que según el análisis mineralógico este material es de calidad.
4. El material volcánico 1P es muy pobre en MgO y CaO, ya que tienen un contenido químico de 0,00% y 0,66% respectivamente. Estos dos compuestos son los que proporcionan mayor expansión en morteros; Las muestras poseen altos contenidos de material volcánico y fueron sometidas al ensayo de expansión al autoclave dando como resultado en las muestras M1 y M2 valores de contracción y en la muestra M3 un

valor muy pequeño de expansión como se puede observar en la Tabla XIII.

RECOMENDACIONES

1. Enfocar esfuerzos de futuros trabajos de graduación en la muestra de aglomerante M2, ya que es la que optimiza más el uso de cemento sin afectar su resistencia.
2. Realizar una evaluación experimental a las muestras M2 y M3 añadiendo diferentes porcentajes de cal hidratada no mayores al 10%, para verificar si cumplen con los requerimientos físicos de retención de agua.
3. Variar el tiempo de molienda de las muestras en 2 y 4 horas y realizar otros tipos de molienda para verificar si las muestras mejoran sus propiedades físicas.
4. Constatar las evaluaciones experimentales con recomendaciones mencionadas a los diferentes bancos de material volcánico mencionados en el proyecto FODECYT 023-2010.

BIBLIOGRAFÍA

1. *AGENCY for Toxic Substances and Disease Registry*. [en línea]. Atlanta, U.S. Department of Health and Human Services, [Fecha de consulta: 11 septiembre de 2015]. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/plomo/es_pb-plomo.html
2. COMISIÓN Guatemalteca de Normas. Norma COGUANOR NTG 29001. *Agua potable. Especificaciones*. Guatemala, 2012. 7 p.
3. COMISIÓN Guatemalteca de Normas. Norma COGUANOR NTG 41096. *Cemento de mampostería, Traducción de la norma ASTM C91*. Guatemala, 2010. 7 p.
4. *ENVIRONMENTAL Protection Agency*. EPA EE.UU. 1311. "*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*" TCLP. Estados Unidos, 1992. Disponible en: <http://www.sgs.cl/es-ES/Mining/Analytical-Services/Acid-Rock-Drainage-ARD/US-EPA-1311-Toxicity-Characteristic-Leaching-Procedure-TCLP.aspx>
5. QUIÑONEZ de la Cruz, Francisco Javier. Informe final del Proyecto FODECYT No. 023-2010. *Determinación y evaluación del índice de reactividad puzolanica de diez bancos de la franja volcánica de guatemala para la industria del cemento*. Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología FODECYT : Centro de Investigaciones de Ingeniería - CII, Univesidad de San Carlos de Guatemala, 2013. 2, 45 p.

6. QUIÑÓNEZ Lorenzana, Luis Ángel. *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*. Trabajo de graduación de licenciatura en ingeniería civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2013. 22 p.
7. ROSALEZ Rivas, Víctor R. *Geología y caracterización física de puzolanas de la zona oriental de Guatemala*. Trabajo de graduación de licenciatura en ingeniería civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2012. 51 p.
8. TORRES Agredo, J., TROCHEZ Serna, J., & MEJÍA, R. *Reutilización de un residuo de la industria*. En *Ingeniería y Ciencia, Volumen 8, número 15*, 2012. pp. 141–156.
ISSN 1794–9165.

APÉNDICES

M1

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

EDAD	No.	PESO (g)	L1 (cm)	L2 (cm)	CARGA (Lb)	area (pulg ²)	esfuerzo (lb/pulg ²)	Mpa	promedio
7d	1	273,90	5,14	5,18	5000,00	4,13	1211,56	8,32	8,30
7d	2	271,80	5,19	5,14	4900,00	4,13	1185,04	8,14	
7d	3	273,20	5,20	5,13	5000,00	4,13	1209,25	8,31	
28d	4	274,01	5,15	5,13	8000,00	4,10	1953,59	13,42	13,30
28d	5	277,53	5,17	5,12	7000,00	4,10	1706,10	11,72	
28d	6	279,23	5,16	5,18	8800,00	4,14	2124,08	14,59	
56d	7	260,75	5,14	5,11	10300,00	4,07	2530,00	17,38	17,63
56d	8	266,18	5,12	5,12	10600,00	4,06	2608,76	17,92	
56d	9	265,75	5,13	5,10	10300,00	4,06	2539,90	17,45	

M2

RESISTENCIA A COMPRESIÓN

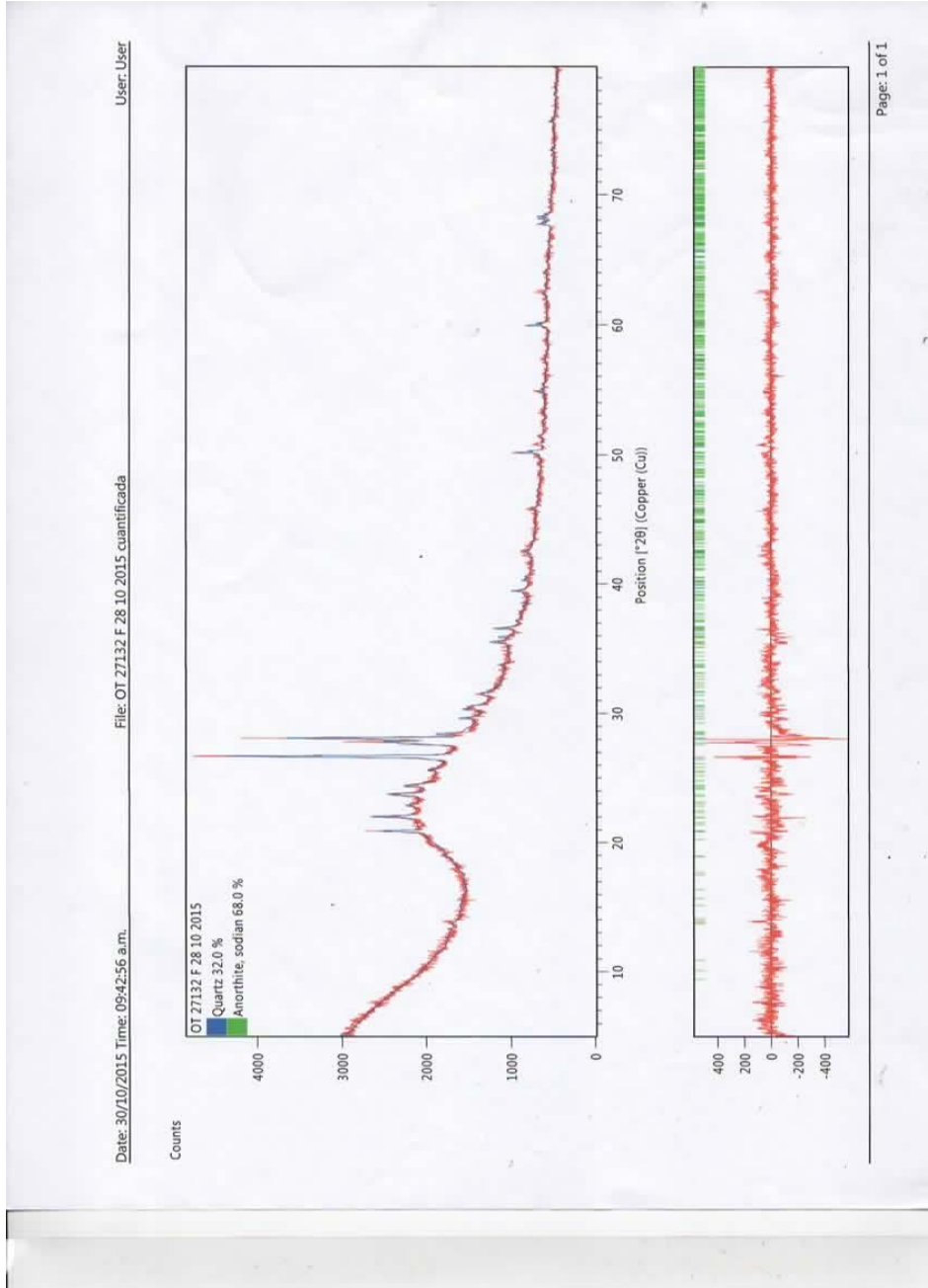
EDAD	No.	PESO (g)	L1 (cm)	L2 (cm)	CARGA (Lb)	pulg ²	lb/pulg ²	Mpa	promedio
7d	1	277,45	5,20	5,15	7000,00	4,15	1686,38	11,59	14,13
7d	2	278,89	5,13	5,14	9400,00	4,09	2299,93	15,80	
7d	3	278,26	5,10	5,11	8700,00	4,04	2153,75	14,80	
28d	4	278,35	5,11	5,12	14200,00	4,06	3501,59	24,06	23,10
28d	5	280,08	5,19	5,12	13000,00	4,12	3156,27	21,69	
28d	6	279,61	5,18	5,14	14000,00	4,13	3392,37	23,31	
56d	7	269,06	5,09	5,11	15600,00	4,03	3869,49	26,59	27,00
56d	8	268,76	5,10	5,13	15800,00	4,06	3896,16	26,77	
56d	9	269,51	5,10	5,15	16200,00	4,07	3979,28	27,34	

M3

RESISTENCIA A COMPRESIÓN


EDAD	No.	PESO (g)	L1 (cm)	L2 (cm)	CARGA (Lb)	pulg2	lb/pulg2	Mpa	promedio
7d	1	281,22	5,16	5,11	10000,00	4,09	2446,79	16,81	15,72
7d	2	279,84	5,11	5,20	9600,00	4,12	2330,85	16,02	
7d	3	278,02	5,17	5,14	8600,00	4,12	2087,91	14,35	
28d	4	291,08	5,20	5,20	13900,00	4,19	3316,47	22,79	23,13
28d	5	286,37	5,15	5,20	13500,00	4,15	3975,03	22,30	
28d	6	292,33	5,20	5,14	14500,00	4,14	3500,01	24,05	
56d	7	269,38	5,15	5,18	14500,00	4,13	3506,70	24,09	24,83
56d	8	267,46	5,18	5,18	16500,00	4,16	3975,03	27,31	
56d	9	268,59	5,16	5,12	13600,00	4,09	3321,14	22,82	

Ensayo mineralógico de difracción de rayos x



ANEXOS

Ensayo de contenido químico.

 <p>CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera Tel: 22864178 Fax: 22864181 laboratorioCETEC@compro.com</p>		OT	26933
		FECHA	30/09/2015
<p>Tel: 22864178 Fax: 22864181 laboratorioCETEC@compro.com</p>		PÁGINA	1 DE 1
		ÁREA DE LAB.	QC
Cliente	CENTRO DE CHD/CETEC	KM 22 RUTA AL ATLÁNTICO	
Dirección / Teléfono	15 AV. 18-01 ZONA 6 FINCA LA PEDRERA	Procedencia	MATERIAL VOLCÁNICO IP
Contacto	LUIS VELÁZQUEZ/DANIEL MENDOZA	Muestra	DENSE GALINDO
Proyecto	TRABAJO DE GRADUACIÓN	Analista(s)	2015-10-02
		Fecha de Ensayo	

INFORME DE ENSAYO

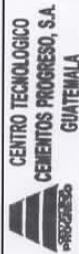
ANÁLISIS QUÍMICO

MEDIANTE FLUORESCENCIA DE RAYOS X


Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	LOI (950 °C)		*RI
									Total	3.03	
1 MATERIAL VOLCÁNICO IP	73.02	13.11	0.04	0.66	0	0.1	3.47	3.99	3.03	97.42	-

* Expresada como porcentaje en masa (w/w).

** Determinado Gravimétricamente. ASTM C 114




Analista


Jefe de Laboratorio/Coordinador

OBSERVACIONES

Los resultados de ensayo se refieren únicamente a las muestras presentadas por el cliente. No deben reproducirse este informe, a menos que se haga integramente.

SQL-CT-OC-E-01/Rev. 06

Ensayos al mortero fresco.

 <p>CEMENTOS PROGRESO Compañías Unidas, Cimientos Realizados.</p>	CEMENTOS PROGRESO S. A. CENTRO TECNOLÓGICO 15 Av. 18 - 01 Zona 6, La Pedrera Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181 laboratoriocelec@cempro.com			OT:	26933
				FECHA:	2015-09-30
				PÁGINA:	1 DE 1
				IMPRESIÓN:	2015-10-21
CLIENTE:	CENTRO DE INVESTIGACION & DESARROLLO	CONTACTO:	Lic. LUIS VELASQUEZ/DANIEL MENDOZA		
DIRECCION	15 Av. 18 - 01 Zona 6, Finca La Pedrera	TELEFONO	2286-4100		
PROYECTO	TRABAJO DE GRADUACION	ANALISTA (S)	CL	LABORATORIO	CE

INFORME DE ENSAYOS FISICOS DE CEMENTO

NORMA ASTM	MUESTRA	80% CEMENTO ESTRUCTURAL 5 800 + 20% MATERIAL VOLCANICO 1P	80% CEMENTO ESTRUCTURAL 5 800 + 40% MATERIAL VOLCANICO 1P	40% CEMENTO ESTRUCTURAL 5 800 + 60% MATERIAL VOLCANICO 1P
	Fecha Ensayo	12/10/2015	12/10/2015	12/10/2015
C 187	Consistencia Normal (mm)	9	9	10
	% H ₂ O para C.N.	26.1	26.9	27.5
C 288	Gillmore Inicial (min)	152	217	240
	Gillmore Final (min)	287	256	339
C 101	% Expansión Autoclave	0.01	-0.04	-0.09
C 108	% de Retención de Agua	59	63	62
C 420	Fineza Tamiz No. 325 (% Pasa)	92.35	87.69	82.83
C 185	Contenido de Aire (%VOL)	8.84	10.96	9.95
OBSERVACIONES:				

Los resultados de ensayo se refieren a las muestras presentadas **NO** debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.


Analista


Jefe de laboratorio / Coordinador

 **CENTRO TECNOLÓGICO**
CEMENTOS PROGRESO, S.A.
GUATEMALA