



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

**CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DEL
VOLCÁN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN**

Christian Alfredo Coyote Hernández
Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DEL
VOLCÁN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CHRISTIAN ALFREDO COYOTE HERNÁNDEZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

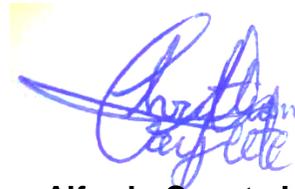
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

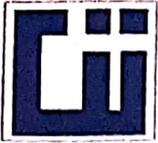
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DEL VOLCÁN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 19 de noviembre de 2019.



Christian Alfredo Coyote Hernández



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, 16 de marzo de 2022

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Facultad de Ingeniería/USAC
Escuela de Ingeniería Civil
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

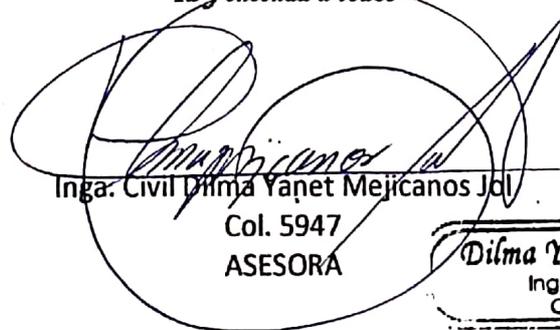
Ingeniero Montenegro

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCANICA PROVENIENTE DEL VOLCAN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN** elaborado con el estudiante universitario Christian Alfredo Coyote Hernández, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Coyote Hernández satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"


Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947

Guatemala, 30 de marzo de 2,022

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes, Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCANICA PROVENIENTE DEL VOLCAN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCION”**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil, **Christian Alfredo Coyote Hernández**, quién contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

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



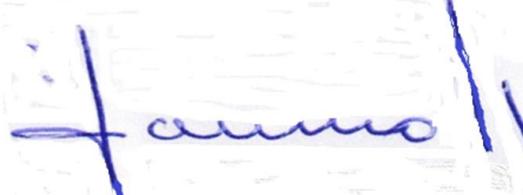
Ing. Civil Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe de área de materiales y construcciones civiles.



LNG.DIRECTOR.093.EIC.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DEL VOLCÁN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por: **Christian Alfredo Coyote Hernández**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, mayo de 2022



LNG.DECANATO.OI.307.2022

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DEL VOLCÁN DE FUEGO PARA SU USO EN LA CONSTRUCCIÓN**, presentado por: **Christian Alfredo Coyote Hernández**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme y darme la oportunidad de alcanzar una meta muy importante en mi vida.
- Mis padres** Jacinto Coyote Xicay y Justa Hernández Yos por su apoyo incondicional, en el proceso de mi vida y mi formación académica.
- Mis hermanos** Meily, Lily, Victoria, Juan Luis, y Rony Coyote Hernández, por ser una importante influencia en mi vida, por apoyarme en todo momento y por estar cuando los necesito.
- Mis abuelos** León Coyote, Sabina Xicay, Julio Hernández, y María de Jesús Yos (q. e. p. d.). Por ser un ejemplo de vida para mí.
- Mi esposa** Mónica Canux, por su apoyo incondicional para lograr esta y muchas metas más y por todo lo vivido durante estos años.
- Mis hijos** Christian y Katherin Coyote Canux, Por ser la mejor motivación en mi vida y apoyarme en todo momento.

Mis sobrinos

Meredith Sicaján, Ángel Coyote, Jonathan Coyote, Kaori Sicaján. Por su compañía y alegría en mi vida.

Mis suegros

Pedro Canux, Ana Bac, por su apoyo y consejos para seguir adelante.

Mis cuñados

Karla Yos, Benedin Sicajan, Ángela Canux y Dominic Canux. Por su influencia en mi vida y formar parte de mi familia.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudio para mi formación académica.

Facultad de Ingeniería

Porque en sus instalaciones me permitió adquirir conocimientos que me ayudan en mi vida personal y profesional.

**Mis amigos de la
Facultad**

Por los momentos inolvidables y apoyo durante mi formación profesional.

Mi asesora

Ingeniera Dilma Yanet Mejicanos Jol, por su tiempo, dedicación y sus conocimientos que me ayudaron a formarme académicamente.

**Mis compañeros
de trabajo**

Por su apoyo en mi crecimiento profesional.

**Centro de
Investigaciones de
Ingeniería y CESEM**

Por su apoyo para la realización de los ensayos para este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1.1. Actividades históricas del volcán de Fuego	1
1.1.2. Efectos ocasionados por el volcán de Fuego	2
1.2. Formación de la arena volcánica.....	3
1.3. Materiales de construcción de origen volcánico	7
1.4. Reacciones químicas de los agregados	7
1.4.1. Reactividad álcali-agregado.....	8
1.4.2. Reactividad álca-sílice	9
1.5. Propiedades mecánicas y características físicas de las arenas que deben cumplir para emplearse en la construcción	10
1.5.1. Características físicas.....	10
1.5.2. Propiedades mecánicas	12
2. MARCO PRÁCTICO	15
2.1. Muestreo de la arena volcánica (NTG 41009) Práctica estándar para el muestreo de los agregados	15

2.2.	Preparación de muestras. (NTG 41010 h11 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo)	16
2.3.	Análisis físicos de la arena volcánica (NTG 41007) Agregados para concreto	18
2.4.	Reactividad potencial química de la arena volcánica (NTG 41010 h13) Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali- sílice en los agregados Método Químico.....	20
2.5.	Análisis Petrográfico de la arena volcánica (NTG 41088 Guía para la evaluación petrográfica de los agregados para el concreto)	21
2.6.	Reactividad álcali-agregado de la arena volcánica (NTG 41003 h7 Método de ensayo. Determinación de la reactividad alcalina potencial de las combinaciones cemento-agregados. Método de la barra de mortero)	22
2.7.	Análisis mecánico. Resistencia a compresión en morteros de la arena volcánica con cemento, (NTG 41003 h4 Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50mm (2pulg) de lado)	23
3.	RESULTADOS.....	27
3.1.	Interpretación de resultados de características físicas.....	27
3.2.	Interpretación de resultados de reactividad potencial	29
3.3.	Interpretación de resultados de análisis Petrográfico.....	31
3.3.1.	Interpretación de resultados de reactividad álcali-agregado	32

3.4.	Interpretación de los resultados de propiedades mecánicas en morteros	33
	CONCLUSIONES	35
	RECOMENDACIONES	37
	BIBLIOGRAFÍA.....	39
	APÉNDICES	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Erupción del volcán Kilauea (Hawái).....	4
2.	Erupción de volcán Estrómboli (Italia).....	4
3.	Erupción del volcán de Fuego (Guatemala).....	5
4.	Erupción Pliniana.....	6
5.	Imagen comparativa entre la explosividad relativa y altura de la erupción resultante, de las erupciones magmáticas.....	6
6.	Imagen de pavimento dañado por reacción álcali-agregado.....	8
7.	Imagen de pavimento dañado por reacción álcali-agregado.....	16
8.	Reducción de muestras.....	17
9.	Densidad relativa del agregado.....	18
10.	Ensayo de masa unitaria.....	19
11.	Contenido de materia orgánica.....	19
12.	Ensayo de porcentaje que pasa tamiz No. 200.....	19
13.	Ensayo de granulometría.....	20
14.	Ensayo de porcentaje que pasa tamiz No. 200.....	21
15.	Método de barras de mortero.....	23
16.	Método de barras de mortero.....	24
17.	Ensayo de retención de agua.....	25
18.	Granulometría de la arena volcánica.....	29
19.	Gráfica clasificación entre los materiales inocuos, deletéreos y potencialmente deletéreos.....	30
20.	Gráfica de expansión de barras.....	33

TABLAS

I.	Límites de gradación del agregado fino	11
II.	Precisión de resultados.....	13
III.	Características físicas de la arena volcánica	27
IV.	Resultados de ensayos químico reactividad potencial.....	30
V.	Resultados del ensayo petrográfico.....	31
VI.	Resultados del ensayo de barras de mortero	32
VII.	Resultados del ensayo de barras de mortero	33

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
gr	Gramos
kg	Kilogramo
kg/m²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/m³	Kilogramo por metros cúbicos
psi	Libras sobre pulgada cuadrada
Mpa	Mega pascales
M³	Metro cúbico
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
Pu	Peso unitario
Pie³	Pie cúbico
in	Pulgadas
RAA	Reactividad álcali- agregado
RAS	Reactividad álcali- sílice
RAC	Reactividad álcali- Carbono

GLOSARIO

Agregado	Consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula variables.
Álcali	Es un conjunto de sustancias producidas a partir de los metales alcalinos.
Alcalinos	Que tiene álcali o las propiedades de un álcali.
ASTM	Asociación Americana de prueba de materiales. Por sus siglas en inglés American Standard Test Materiales.
Basalto	Roca volcánica, de color negro verdoso, compuesto generalmente de feldespatos y piroxeno.
Ceniza	Polvo mineral de color gris claro que queda como residuo de una combustión completa.
Concreto	Material de construcción formado por una mezcla de piedras menudas y un tipo de argamasa (cal, cemento, arena y agua).
Deletéreo	Que causa o puede causar la muerte por envenenamiento.

Erupciones	Emisión de materias sólidas, líquidas y gaseosas por el cráter o por la fractura o grieta de un volcán.
Ígneo	Que procede de la masa en fusión existente en el interior de la Tierra.
Inocuo	Que está libre de bacterias y hongos o mohos dañinos.
Insivumeh	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
Magma	Es una masa total o parcialmente fundida de silicatos con gases disueltos.
Mortero	Mezcla de diversos materiales, como cal o cemento, arena y agua, que se usa en la construcción para fijar ladrillos y cubrir paredes.
Placas tectónicas	Fragmentos de la litosfera, compuesta por la parte superior del manto superior y la corteza terrestre, que se comportan como una capa fuerte, relativamente fría y rígida.
Resistencia	Es una de las capacidades físicas básicas, particularmente aquella que nos permite llevar a cabo una actividad o esfuerzo.

Sílice	Combinación de silicio con oxígeno (SiO ₂) que entra en la composición de ciertos minerales.
Tamiz	Cedazo muy tupido.
Volcán	Monte con un cráter en su cima, generalmente de forma cónica, formado a partir de la solidificación de materiales incandescentes.
Yepocapa	Municipio del departamento de Chimaltenango.

RESUMEN

En esta investigación se realiza el análisis de las propiedades y características de una muestra de arena volcánica proveniente del volcán de Fuego, en el que las características físicas se mantienen en las especificaciones de norma.

El módulo de finura indica que la arena se clasifica como media, teniendo una densidad relativa intermedia al rango de las arenas convencionales, la muestra presenta una granulometría que se adapta a los límites establecidos en norma y el contenido de materia orgánica según colorímetro está por debajo del máximo admisible.

Los resultados de los ensayos químicos y petrográficos indican un porcentaje de minerales que tiene un comportamiento deletéreo, por lo que individualmente la arena puede ser dañina en algunas aplicaciones, el porcentaje de contenido de sustancias perjudiciales no supera a la máxima permisible según la norma.

Por recomendación de la norma NTG 41010 h13 se realizó el ensayo del método de la barra de mortero, el cual da como resultado un porcentaje de expansión intermedio inferior al máximo permisible dando como resultado una buena interacción entre la muestra de arena con el cemento y muy buenos resultados en las propiedades mecánicas llegado a resistencias mayores a la esperada.

OBJETIVOS

General

Caracterizar la arena volcánica proveniente del volcán de Fuego para analizar su uso en la construcción.

Específicos

1. Determinar las características físicas químicas y petrográficas de la arena volcánica proveniente del volcán de Fuego.
2. Definir la reactividad de la arena con cemento por medio de barras de morteros.
3. Analizar las propiedades mecánicas en morteros.
4. Determinar para qué casos es posible emplear la muestra como agregado fino.

INTRODUCCIÓN

La arena proveniente del volcán de Fuego es un material abundante en sectores cercanos a este, que ha sido de beneficio para algunos pobladores que ya han empleado esta arena como agregado fino o algunos otros usos, aún sin conocer sus propiedades.

Se analiza para determinar características y propiedades de la arena volcánica proveniente del volcán de Fuego por ser un material que posee características similares a las de la arena convencional que es empleada como agregado fino en mezclas de morteros y concretos.

Es un material natural que se encuentra en los alrededores de los volcanes, estos poseen características que pueden ser perjudiciales para su uso en construcción, ya que afectan la interacción con cemento, pudiendo perder cohesión entre partículas o reaccionando potencialmente negativo, para ello es necesaria la caracterización del material previo a su uso y con ello poder darle el más adecuado.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describe la información general referente al procedente de la arena volcánica, sucesos más importantes y efectos ocasionados por el volcán de Fuego a sus alrededores.

1.1. Antecedentes

En la actualidad, se encuentran documentos publicados acerca de las actividades más importantes del volcán de Fuego y los efectos que ha causado a nivel nacional e internacional.

1.1.1. Actividades históricas del volcán de Fuego

El Insivumeh publicó un boletín informativo del volcán de fuego titulado: volcán de Fuego; en el cual se confirma que, este volcán es el más activo de Guatemala, teniendo registros desde 1524 hasta el 2000. Siendo las de mayor relevancia la erupción de lava en 1582, el cual destruyó el pueblo de San Pedro. La erupción de ceniza en 1932 que se acompañó de algunos temblores ligeros, la ceniza cae en Honduras y El Salvador, en la Ciudad de Guatemala se observó una caída de ceniza de 138 kg/m^2 , el pico puntiagudo del volcán se derrumbó, desde tal fecha el cráter está abierto hacia el NE. La erupción de 1974, en la que se reporta grandes pérdidas en la agricultura en Chimaltenango

y Escuintla, nuevamente Yepocapa queda semienterrado por la cantidad de arena en el lugar.¹

En junio de 2018 se publicó el reporte titulado; Guatemala equipo humanitario de país reporte de situación No. 01 al 04/05/2018. Este documento reporta la actividad de mayor magnitud y más reciente que se ha registrado del volcán de Fuego. Este suceso registra una alerta roja en sectores de Escuintla, Sacatepéquez y Chimaltenango, mientras que a nivel nacional se reporta una alerta anaranjada. El Volcán generó fuertes explosiones con la misma energía columnas de ceniza de hasta 15 mil metros de altura sobre el nivel del mar que se desaparecieron hasta 40 kilómetros de distancia, afectando a 1 702 136 personas, evacuando a los vecinos de ese lugar, y rescatando los cuerpos de los desaparecidos por más de una semana.²

1.1.2. Efectos ocasionados por el volcán de Fuego

Los desastres que se producen tras la actividad volcánica son muy evidenciables para los pobladores aledaños al volcán de Fuego, algunos puntos de vulnerabilidad son; la agricultura, los sectores productivos más afectados son: café, granos básicos, hortalizas, plantas ornamentales, hule, entre otras. Así como la ganadería y la producción de lácteos.

Las constantes actividades volcánicas han obligado a los pobladores a trabajar por una limpieza de sus terrenos cada cierto tiempo, ya que la ceniza volcánica provoca daños a las plantas. Esto debido a los minerales y

¹ INSIVUMEH, *Volcán de Fuego*.
<https://insivumeh.gob.gt/productos/geofisica/vulcanologia/boletines-semanales-de-volcanes/>.
Consulta: 8 de agosto de 2021.

² OCHA. *Guatemala Equipo Humanitario de País Reporte de Situación No. 01(al 04/05/2018)*.
<https://reliefweb.int/report/guatemala/guatemala-equipo-humanitario-de-pa-s-reporte-de-situaci-n-no-05-al-27062018-erupci>. Consulta: 22 de septiembre de 2021.

componentes químicos de la ceniza que regularmente es ácida. La ceniza puede quemar las hojas y afectar el proceso de fotosíntesis de la planta. Por lo que sugieren no emplear material piro clástico en los cultivos e integrarlo al suelo.

Los problemas de salud que pueden presentar en la población son varios, entre los más comunes son infecciones pulmonares por la ceniza que se respira en todo el ambiente. Así también la piel y los ojos. Causando distintas enfermedades a los humanos como a animales que habitan a cercanías.³

1.2. Formación de la arena volcánica

Es un material de origen ígneo, dentro del volcán se encuentran los puntos calientes, los cuales no tienen relación con la distribución de placas. Los magmas al alcanzar la superficie forman volcanes y el movimiento de la placa sobre el punto caliente hace que se formen cadenas de islas volcánicas, para su formación es necesario conocer acerca de las actividades volcánicas, estas se clasifican principalmente en:

- Erupción tipo hawaiano: son los tipos más tranquilos de eventos volcánicos, se caracterizan por la erupción efusiva de lava muy fluida de tipo basalto, con bajo contenido gaseoso y bajas cantidades de ceniza volcánica.

³ FAO, *Agricultura en Guatemala, vulnerable a las erupciones volcánicas*. 06/06/2018. <https://www.fao.org/guatemala/noticias/detail-events/fr/c/1139152/>. Consulta: 20 de septiembre de 2021.

Figura 1. **Erupción del volcán Kilauea (Hawái)**



Fuente: CIMARELLI, Corrado; MÜLLER, Sebastián. *Volcanes activos del mundo*.
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICA%20S.pdf>. Consulta: 16 de septiembre de 2021.

Erupciones estrombolianas: en este tipo de erupción la lava es fluida, desprendiendo gases abundantes y violentos, proyectando fragmentos de lava fundida que llegan a cientos de metros del cráter. Debido a que los gases pueden desprenderse con facilidad, no se producen cenizas.

Figura 2. **Erupción de volcán Estrómboli (Italia)**



Fuente: CIMARELLI, Corrado; MÜLLER, Sebastián. *Volcanes activos del mundo*.
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICA%20S.pdf>. Consulta: 16 de septiembre de 2021.

- Erupciones vulcanianas: desprenden grandes cantidades de gases de un magma poco fluido, que se consolida con rapidez; por ello las explosiones son muy fuertes y pulverizan la lava, produciendo mucha ceniza lanzada al aire, que va acompañada de otros materiales fragmentarios. Los conos de estos volcanes son de pendiente muy inclinada.

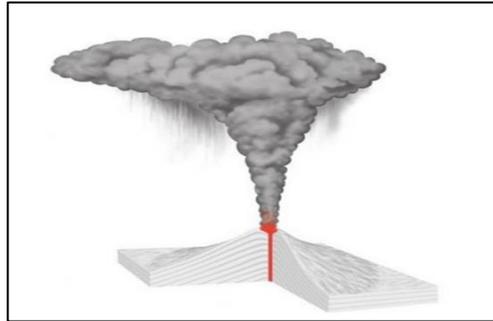
Figura 3. **Erupción del volcán de Fuego (Guatemala)**



Fuente: CIMARELLI, Corrado; MÜLLER, Sebastián. *Volcanes activos del mundo*.
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICA%20S.pdf>. Consulta: 16 de septiembre de 2021.

- Erupción Plinianas o Vesubianas: estas son las más explosivas; la presión de los gases es muy elevada provocando explosiones muy violentas. Forma nubes ardientes que, al enfriarse, producen precipitaciones de cenizas, que pueden llegar a sepultar ciudades.

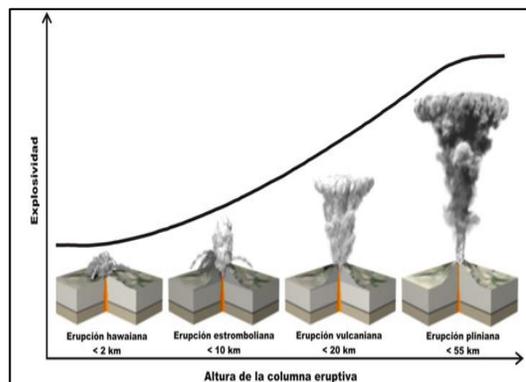
Figura 4. **Erupción Pliniana**



Fuente: CIMARELLI, Corrado; MÜLLER, Sebastián. *Volcanes activos del mundo*.
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICA>
S.pdf. Consulta: 16 de septiembre de 2021.

Una erupción más explosiva está asociada a una mayor expulsión de cenizas, agua y gases a la atmósfera.

Figura 5. **Imagen comparativa entre la explosividad relativa y altura de la erupción resultante, de las erupciones magmáticas**



Fuente: CIMARELLI, Corrado; MÜLLER Sebastián. *Volcanes activos del mundo*.
<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICA>
S.pdf. Consulta: 16 de septiembre de 2021.

1.3. Materiales de construcción de origen volcánico

Los principales componentes que se obtienen de una erupción son; fragmentos sólidos, lava, gases, ceniza. De los cuales tienen distintos tamaños y estos se comercializan en algunos puntos; como ferreterías y bancos de material. Generalmente los materiales de origen volcánico son empleados para estabilizar, rellenar o limitar bases.

Actualmente en lugares aledaños a los volcanes más activos emplean arena volcánica en lugar de arena convencional. Esto se debe a la abundancia de este material en estos sectores y la similitud que tienen con los agregados para concreto. Por la cantidad de arena expulsada cubre una gran extensión territorial, de la cual es arrastrada por el agua de lluvia o vientos hacia ríos cercanos. Al emplear arena de río es muy común que la arena tenga una gran cantidad de arena volcánica por lo antes mencionado.

Existen también materiales de origen volcánico de mayores dimensiones, estos son empleados para decoraciones en jardines o en peceras.

1.4. Reacciones químicas de los agregados

Es importante conocer que los agregados son parte de una composición, la cual tiene que reaccionar de una manera correcta con el cemento para llegar a ser lo que se conoce como concreto o también pueden ser morteros y las reacciones químicas de estos son muy importantes para su durabilidad y funcionalidad, entre ellas están:

1.4.1. Reactividad álcali-agregado

Cada tipo de agregado reactivo tiene lugar una máxima expansión cuando se encuentra en mezclas de concretos o morteros esto se debe a la exposición a temperaturas cálidas o frías respectivamente. La expansión y el agrietamiento, que conducen a una pérdida de la resistencia, elasticidad y la durabilidad del concreto, también puede ser el resultado de reacciones químicas que incluyen iones alcalinos del cemento, iones de hidroxilo y ciertos constituyentes de sílice que pueden estar presentes en el agregado.

La reacción álcali-agregado es una causa del deterioro de estructuras de concreto que se produce cuando se ponen en contacto agregados que tienen compuestos reactivos con componentes alcalinos y se dan condiciones de elevada humedad. La reactividad es potencialmente perjudicial solo cuando produce una expansión significativa.

Figura 6. **Imagen de pavimento dañado por reacción álcali-agregado**



Fuente: LPE. Ingeniería. *Reacción Álcali-Agregado (AAR)*.

<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/reacao-alcali-agregado-raa-ela-pode-afetar-o-pavimento-ou-piso-de-concreto/>. Consulta: 20 de octubre de 2021.

Para evitar estas reacciones se recomienda no emplear agregados potencialmente reactivos y el empleo de cementos con bajo contenido de óxidos alcalinos, el cual conviene que sea inferior al 0,60 % de óxido de sodio equivalente ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$) en peso de cemento. Esta reactividad álcali-agregado (RAA) se presenta en dos formas: reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC).

Por lo que hace necesario el estudio de las propiedades de los agregados antes de emplearlo.

1.4.2. Reactividad álca-sílice

Pueden estar presentes en áridos. La reacción provoca la formación de un gel álcali-sílice, que da lugar a fuerzas de expansión. “La reacción tiene la capacidad de absorber humedad del hormigón produciendo una expansión del gel, la cual genera expansiones internas del hormigón al endurecer. Como consecuencia se producen agrietamientos a lo largo de una estructura y pérdida de resistencia.”⁴

- Como se manifiesta la RAS

Los indicadores de RAS pueden ser: red de fisuras y grietas, las cuales presentan a veces una coloración más oscura y expulsión de un material de color ámbar que cuando se seca se torna de color blanco, juntas cerradas o lascadas, desplazamiento relativo de diferentes partes de la estructura o la aparición de erupciones en la superficie.

⁴ OLAGUE, Carlos. *Reacción álcali-sílice en áridos para pavimentos de hormigón en el estado de Chihuahua, México*. <https://pdfs.semanticscholar.org/cfbc/8cd41e0d6e75b992aa681c8fa89a2cc1c156.pdf>. Consulta: 19 de agosto de 2021.

Este tipo de falla es lenta, no es devastadora en caso de fallar en la estructura, el armado de la estructura permite la manifestación de las fisuras paralelas a ese armado.

1.5. Propiedades mecánicas y características físicas de las arenas que deben cumplir para emplearse en la construcción

El agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso debido a que los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados afectando la proporción que se incluya de éstos. Una óptima granulometría del agregado fino es determinante por su requerimiento de agua. Así también el efecto del agregado grueso cuando se emplea en una mezcla afectando las propiedades mecánicas del elemento debido a que reduce la cantidad de vacíos.

1.5.1. Características físicas

Para el caso del agregado fino, arena. Debe cumplir con las especificaciones que establece la Norma NTG 41007 en el apartado 6.1.

Tabla I. **Límites de gradación del agregado fino**

Tamiz (Esp. ASTM E11)	Porcentaje que Pasa	
	Arena Natural	Arena manufacturada
9.5 mm (3/8")	100	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100	80 a 95
1.18 mm (N°16)	50 a 85	45 a 95
600 µm (N°30)	25 a 60	25 a 75
300 µm (N°50).....	5 a 30.....	10 a 35
150 µm (N°100).....	0 a 10.....	8 a 20

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca 41007. *Agregados para concreto*.

https://www.academia.edu/11097717/NORMA_T%C3%89CNICA_NTG_41007_GUATEMALTE

CA. Consulta: 22 de octubre de 2021.

Estos parámetros son importantes, ya que el material debe estar bien graduado para tener mejor trabajabilidad, claramente no pueden ser mayor al tamiz No.4, ya que los mayores de ese tamaño son considerados agregados gruesos. El agregado bien graduado ayuda a reducir la cantidad de vacíos en la mezcla, generado principalmente por el agregado grueso.

El agregado fino debe estar libre de impurezas orgánicas, los agregados sujetos al ensayo de impurezas orgánicas y que producen un color más oscuro que el estándar deben ser rechazados, siendo este el número 3 en el colorímetro el máximo permisible según norma NTG 41010 h4. Esto debido a que la materia orgánica afecta a la hidratación del cemento y por consiguiente a la resistencia del mortero o concreto.

1.5.2. Propiedades mecánicas

Entre estas propiedades se puede mencionar el grosor del agregado o también conocido como módulo de finura, este puede demostrar cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento por lo que se debe de usar un módulo de finura entre 2.2 y 3.2. También es importante conocer de su masa unitaria, que es la relación de la masa del material con respecto al volumen que ocupa. Existen dos tipos; la masa unitaria suelta y la masa unitaria apisonada, estos datos se utilizan para convertir las unidades de masa a volumen. La gravedad específica es empleada para conocer la cantidad de agregado que se usa en una mezcla.

El conocer las propiedades de los agregados es de mucha importancia para realizar una correcta mezcla iniciando con un óptimo diseño y aprovechando de la mejor manera posible los materiales y obteniendo resultados muy eficientes.

Posterior a conocer todo lo necesario en los agregados, éstos deben cumplir con algunas condiciones que se han establecido para medir la eficiencia del elemento como tal. Estas condiciones se pueden comprobar en la siguiente tabla.

Tabla II. **Precisión de resultados**

	Edad de Ensayo, Días	Coefficiente de variación 1s%	Rango Aceptable de Resultados de Ensayos d2s% A
Cemento portland			
Relación agua-cemento: constante	3	4.0	11.3
Un laboratorio	<u>7</u>	<u>3.6</u>	<u>10.2</u>
Prom		<u>3.8</u>	<u>10.7</u>
Laboratorios múltiples	3	6.8	19.2
	<u>7</u>	<u>6.4</u>	<u>18.1</u>
Prom		<u>6.6</u>	<u>18.7</u>
Cementos adicionados			
Mortero de Flujo constante: Un laboratorio	3	4.0	11.3
	<u>7</u>	<u>3.8</u>	<u>10.7</u>
	<u>28</u>	<u>3.4</u>	<u>9.6</u>
Prom		<u>3.8</u>	<u>10.7</u>
Laboratorios múltiples	3	7.8	22.1
	<u>7</u>	<u>7.6</u>	<u>21.5</u>
	<u>28</u>	<u>7.4</u>	<u>20.9</u>
Prom		<u>7.6</u>	<u>21.5</u>
Cementos de mampostería			
Mortero de flujo constante: Un laboratorio	7	7.9	22.3
	<u>28</u>	<u>7.5</u>	<u>21.2</u>
Prom		<u>7.7</u>	<u>21.8</u>
Laboratorios múltiples	7	11.8	33.4
	<u>28</u>	<u>12.0</u>	<u>33.9</u>
Prom		<u>11.9</u>	<u>33.7</u>

Fuente: Norma Técnica Guatemalteca 41007. *Agregados para concreto.*

https://www.academia.edu/11097717/NORMA_T%C3%89CNICA_NTG_41007_GUATEMALTE

CA. Consulta: 22 de octubre de 2021.

La tabla II indica cual debe ser es el rango aceptable de resultados según la edad del mortero.

2. MARCO PRÁCTICO

Para poder analizar las propiedades del material es necesario que se sometan a ensayos de laboratorio para evaluar su comportamiento y determinar si es posible emplearlo en la construcción.

2.1. Muestreo de la arena volcánica (NTG 41009) Práctica estándar para el muestreo de los agregados

Se procedió a recolectar arena volcánica en lugares cercanos al volcán de Fuego, exactamente en San Pedro Yepocapa Chimaltenango, con las siguientes coordenadas: 14 °30'48,5"N 90 °56'54,6"W (721173,588,1605709,039), en un punto que la arena se acumula por la constante actividad que tiene el Volcán de Fuego, sin embargo no se puede reconocer como un banco de materiales como tal, los vecinos de la localidad limpian constantemente su cultivo para que no sea afectado, de esa manera es muy común observar en esos lugares acumulado arena volcánica y también es transportada para lugares de construcción para emplearla como agregado, por ese motivo se eligió tomar una muestra similar a las condiciones que usan los pobladores del lugar.

La muestra de aproximadamente 20 kg fue tomada directamente de la superficie a la orilla de la calle principal, por lo que el acceso al material no fue complicado, no se le realizó ningún tipo de tratamiento y se almacenó en costales identificados para su traslado hacia los respectivos laboratorios para realizar su análisis.

- Maquinaria y equipo:
 - Pala
 - Azadón
 - Costales

Figura 7. **Imagen de pavimento dañado por reacción álcali-agregado**



Fuente: elaboración propia, San Pedro Yepocapa Chimaltenango,

2.2. Preparación de muestras. (NTG 41010 h11 Práctica para la reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayo)

Por el tipo de ensayo fue necesaria la reducción de la muestra ya que no se empleó todo el material recolectado, para no usar sólo una porción se procedió mezclar la muestra y separarla por etapas, para ello se procedió según el método b de la norma NTG 41010 h11.

- Maquinaria y equipo
 - Lona impermeable
 - Azadón
 - Varilla de madera
 - Cinta métrica

Figura 8. Reducción de muestras

a.) Acumulado de material	b.) Aplastado hasta un diámetro 4 veces espesor
	
c.) División en 4 partes	d.) Sustracción de partes opuestas
	
e.) Sustracción de partes opuestas	f.) Reducción de muestra
	

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.3. Análisis físicos de la arena volcánica (NTG 41007) Agregados para concreto

Se realizó un análisis completo de agregado fino para concreto basándose a la norma vigente NTG 41007 (ASTM C-33) siendo las características analizadas las siguientes; densidad relativa, densidad, masa unitaria compactada, masa unitaria suelta, porcentaje de vacíos compactados, porcentaje de vacíos suelto, granulometría, porcentaje de absorción, contenido de materia orgánica, pasa tamiz 200, módulo de finura. Todos los ensayos fueron realizados en el CII.

- Maquinaria y equipo
 - Balanza capacidad de 20 kg
 - Tamizadora para agregado fino con tamices No.4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 con fondo.
 - Horno a temperatura uniforme
 - Cepillos de alambre y de cerda.
 - Colorímetro
 - Tamiz 200

Figura 9. **Densidad relativa del agregado**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 10. **Ensayo de masa unitaria**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 11. **Contenido de materia orgánica**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 12. **Ensayo de porcentaje que pasa tamiz No. 200**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 13. **Ensayo de granulometría**



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.4. Reactividad potencial química de la arena volcánica (NTG 41010 h13) Método de ensayo. Determinación de la reactividad potencial álcali- sílice en los agregados Método Químico

Este ensayo se realizó para evaluar el potencial de la reactividad de los síliceos del agregado fino para su relación con otro material. Este ensayo se realizó en el laboratorio de físico química LAFIQ-QI del CII/USAC. Previo a su proceso de ensayo de reactividad potencial la muestra fue tamizada en el tamiz No. 50 y retenido en el No. 100 una cantidad de 800 gramos, esto se realizó en la Sección de Agregados, Concretos y Morteros del CII, para cumplir lo que indica en la norma.

- Maquinaria y equipo
 - Balanza o báscula
 - Balanza analítica
 - Recipiente de reacción
 - Fotómetro
 - Cristalería

2.5. Análisis Petrográfico de la arena volcánica (NTG 41088 Guía para la evaluación petrográfica de los agregados para el concreto)

Se realiza el ensayo de petrografía para la identificación de los componentes de la muestra de arena volcánica para reconocer las propiedades que se pueden esperar de la arena para su uso en la construcción, este ensayo clasifica el tipo de minerales que conforman la muestra e indica el porcentaje que contienen en las mismas, previo al ensayo de petrografía fue tamizado para separar por tamaños del agregado por grupos.

- Maquinaria y equipo
 - Microscopio
 - Pinzas finas

Figura 14. Ensayo de porcentaje que pasa tamiz No. 200

a.) Muestras tamizadas para su análisis	b.) Clasificación de minerales con la ayuda de microscopio.
 Una fotografía que muestra un microscopio de mesa con un objetivo ocular y un objetivo objetivo enfocados sobre una pequeña muestra de arena tamizada que se encuentra sobre una hoja blanca.	 Una fotografía que muestra varias bolsas de plástico de diferentes colores (negro, rojo, verde) que contienen muestras de arena tamizada, clasificadas y etiquetadas para su análisis.

Continuación de la figura 14.

c.) Clasificación de minerales	d.) Clasificación de minerales
	
d.) Clasificación de minerales.	e.) Identificación de tipos de materiales
	

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.6. Reactividad álcali-agregado de la arena volcánica (NTG 41003 h7 Método de ensayo. Determinación de la reactividad alcalina potencial de las combinaciones cemento-agregados. Método de la barra de mortero)

Se realiza este ensayo para determinar las propiedades de la arena volcánica en combinación con el cemento para evaluar reacciones expansivas provocadas por iones de hidróxido con los álcalis (sodio y potasio) que pueden ser perjudiciales para su uso en una mezcla de mortero o concreto.

- Maquinaria y equipo
 - Tamices
 - Mezcladora, paleta mezcladora
 - Apisonador y espátula
 - Recipientes para almacenaje de los especímenes

Figura 15. **Método de barras de mortero**

a.) Lectura de expansión de barras	b.) Medición de barras
	

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.7. Análisis mecánico. Resistencia a compresión en morteros de la arena volcánica con cemento, (NTG 41003 h4 Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50mm (2pulg) de lado)

Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la compresión en especímenes de morteros empleando cubos de 2 pulgadas por lado, con el uso de la arena volcánica y cemento UG, previo a realizar el ensayo se realizó un diseño de mezcla para tener una posible proyección de la resistencia que se

desea llegar, se empleó una resistencia de 150 kg/cm² el cual es muy común en los morteros de pega.

- Maquinaria y equipo
 - Pesas
 - Probetas
 - Moldes de especímenes
 - Mezcladora, tazón y paleta
 - Mesa y molde de ensayo de flujo
 - Apisonador
 - Espátula
 - Gabinete
 - Máquina de ensayo

Figura 16. **Método de barras de mortero**

a.) Preparación de cubos de mortero	b.) Medición de cubos
	
c.) Ensayo de compresión de cubos	d.) Testigos ensayados
	

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 17. **Ensayo de retención de agua**

a.) Medición de cubos	b.) Ensayo de compresión de cubos
	

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3. RESULTADOS

Se prestarán los resultados de los ensayos realizados a la muestra de arena volcánica para evaluar si es posible emplearla en la construcción, según sus propiedades.

3.1. Interpretación de resultados de características físicas

A continuación, se presentan mediante la siguiente tabla III los resultados de los ensayos físicos del agregado, realizado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) y los rangos de aceptabilidad.

Tabla III. **Características físicas de la arena volcánica**

Características físicas	
Densidad relativa (sss)	2,74
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 730
Masa unitaria, compactada (Kg/m ³)	1 760
Masa unitaria, suelta (kg/m ³)	1 640
Porcentaje de Vacíos, compactados (%)	36
Porcentaje de Vacíos, suelto (%)	40
Porcentaje de absorción (%)	0,7
Contenido de Materia orgánica	2
Pasa Tamiz #200	1,7
Retenido tamiz 6,35 (%)	0,7
Módulo de finura	2,55

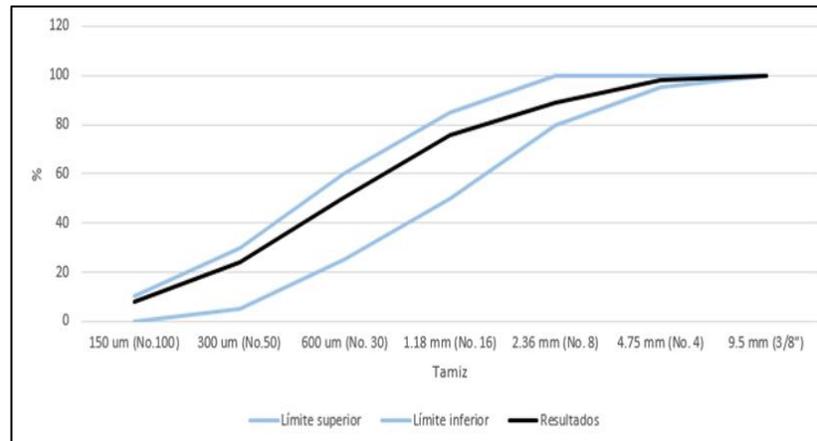
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

- La densidad relativa para el agregado fino la limita la norma NTG 41010 h9 en un rango de 2,40 a 2,90, (2 400 a 2 900 kg/m³) que indica que el agregado cumple con los parámetros.
- La masa unitaria suelta del agregado fino se encuentra dentro de 1 200 y 1 700 kg/m³ que indica que la muestra cumple con el rango.⁵
- El porcentaje de vacíos del 40 por ciento se ubica dentro del intervalo de aceptación de la norma NTG 41010 h2 que indica que es del 30 al 50 por ciento.
- Con un porcentaje de absorción del 0,70 %, el cual es aceptable por ser menor al 3 % del valor máximo permisible, este dato es de utilidad para la mezcla y calcular la cantidad de agua que se necesite.
- EL contenido de materia orgánica indica que tiene 2 por debajo del límite máximo que es de 3, aceptable para la muestra que no tuvo ningún tipo de tratamiento.
- El porcentaje que pasa por el tamiz 200 es de 1,7 %, menor al límite máximo que es de 3.
- Con el módulo de finura, el agregado tiene 2,55 que cumple con el rango que debe estar entre 2,30 y 3,10. Esto indica que puede tener una buena adherencia en una mezcla por clasificarse como una arena media.⁶

⁵ ESTRADA TARACENA, Brandon Edevaír. *Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán.* p. 80.

⁶ GAITAN OROZCO, Sergio. *Análisis mineralógico y exámen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país.* p. 84.

Figura 18. **Granulometría de la arena volcánica**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.2. Interpretación de resultados de reactividad potencial

Con la muestra ensayada con la Norma COGUANOR NTG 41010 h13 (ASTM C-289-07), se obtuvieron los resultados presentados en la tabla IV, basado en la gráfica de la figura 19 en la que indica que el material es potencialmente reactivo, sin embargo, la norma sugiere que para poder descartar o aceptar el material se debe de someter al ensayo de barras de morteros para evaluar su comportamiento directamente con el cemento, su porcentaje de expansión debe ser menor al máximo permisible y de esa manera corroborar que el material al ser empleado no presente fallas como se describen en el capítulo 1 de este documento.

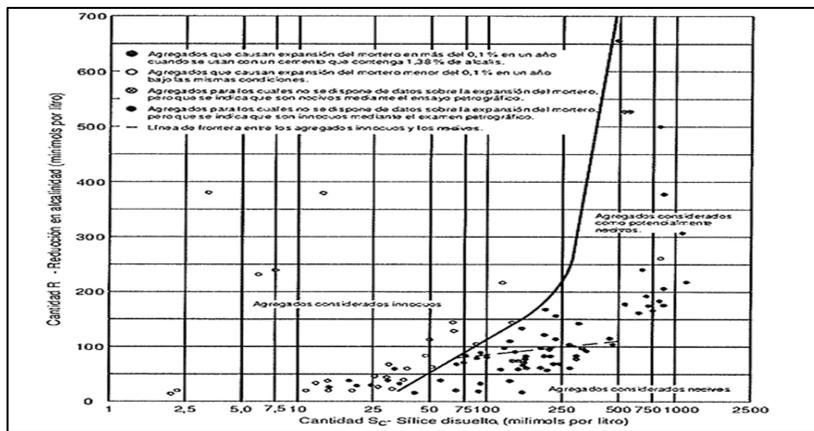
Tabla IV. **Resultados de ensayos químico reactividad potencial**

Identificación Laboratorio	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Sílice Disuelta SC (mmol/L)	Resultado
RG-360-003-21-F	165,7±7,71	293,3±2,82	Potencialmente deletéreo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Independientemente del enfoque que se le está dando a la muestra, los ensayos químicos indican que es potencialmente deletéreo, sin embargo, la norma sugiere que se analice la muestra con un ensayo de álcali-agregado para evaluar su interacción con el cemento y evaluar su expansión.

Figura 19. **Gráfica clasificación entre los materiales inocuos, deletéreos y potencialmente deletéreos**



Fuente: Norma ASTM C-289. *Gráfica clasificación entre los materiales inocuos, deletéreos y potencialmente deletéreos.* <https://docplayer.es/90949856-Estudios-de-calidad-de-agregados-para-concreto-en-guatemala-aplicando-las-normas-astm-c-33-c-131-c-295-y-c-289.html>.

Consulta: 10 de noviembre de 2021.

3.3. Interpretación de resultados de análisis Petrográfico

Se realizó el ensayo de petrografía, presentando los resultados en la tabla V, con los porcentajes de minerales presentes en la muestra de arena volcánica, regido por la norma COGUANOR NTG-41088.

Tabla V. **Resultados del ensayo petrográfico**

Ensayo de petrografía de arena volcánica proveniente del volcán de Fuego	
Dacitas	0,35 %
Riolitas	0,44 %
Andesitas con presencia óxido de hierro	69,31 %
Cuarzo	0,65 %
Vidrio volcánico	29,25 %
Total	100,00 %

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En estos resultados se puede observar presencia de minerales como Dacitas y Riolitas las cuales llevarán a un comportamiento deletéreo por tener una composición química alta en sílice (SiO_2) que supera el 63 %, el mismo coincide con el ensayo químico realizado al material. Sin embargo, la norma NTG 41007 indica en la tabla 1, Límites para sustancias perjudiciales en agregado fino para concreto, que no debe superar un 5 % de contenido, lo cual demuestra que el material cumple con lo requerido.

3.3.1. Interpretación de resultados de reactividad álcali-agregado

Se realizó este ensayo por sugerencia de la norma NTG 41010 h13, por tener resultados de la muestra deletérea sugiere descartar o no mediante el ensayo de barras de mortero. Los resultados se presentan en la siguiente tabla.

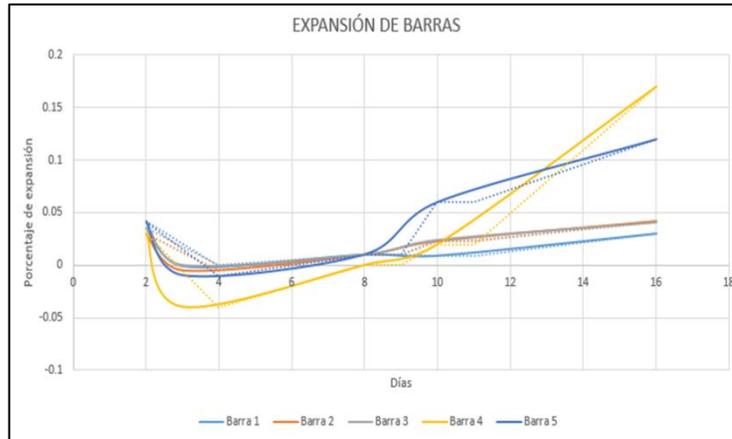
Tabla VI. **Resultados del ensayo de barras de mortero**

Días						
Elaboración 23/02/2021		Barra 1	Barra 2	Barra 3	Barra 4	Barra 5
Lect. Inicial 24/02/2021	1	4,748	4,734	4,568	4,974	3,392
Lect. Cero 25/02/2021	2	4,858	4,812	4,65	5,04	3,466
Lect. Final 11/03/2021	16	4,93	4,916	4,752	5,46	3,76
% de expansión de cada barra		0,0288	0,0416	0,0408	0,168	0,1176
% expansión promedio		0,0794				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se puede apreciar que la expansión promedio de la muestra fue de 0,0794 % el cual está por debajo del máximo permisible que es de 0,2000 % según la norma NTG 41010 h14, individualmente la lectura mayor se registra en la barra 4, la cual llega a tener 0,1680, cumpliendo con límite máximo.

Figura 20. **Gráfica de expansión de barras**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

3.4. Interpretación de los resultados de propiedades mecánicas en morteros

Se evaluó el comportamiento de las propiedades mecánicas de la muestra mediante el ensayo de compresión de cubos de mortero realizados en el CII USAC, se presentan los resultados en la siguiente tabla.

Tabla VII. **Resultados del ensayo de barras de mortero**

No. de cubo	Fecha de elaboración	Edad en días	Área cm ²	Carga lb	Resistencia Mpa	Resistencia lb/plg ²
1	19/02/2021	3	26,112	14 500	24,7	3 580
2	19/02/2021	3	26,47	13 500	22,7	3 290
3	19/02/2021	3	26,42	14 200	23,9	3 470

Continuación de la tabla VII.

Promedio 3 días						3 447
4	19/02/2021	7	26,163	17 500	29,7	4 310
5	19/02/2021	7	26,368	17 400	29,3	4 250
6	19/02/2021	7	26,061	16 400	28	4 060
Promedio 7 días						4 207
7	19/02/2021	28	26,265	24 800	42	6 090
8	19/02/2021	28	25,908	25 600	43,9	6 370
9	19/02/2021	28	26,265	23 000	38,9	5 640
Promedio 28 días						6 033
Resistencia esperada (PSI)						2 133

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

El comportamiento de la arena volcánica para morteros presenta muy buenas condiciones por llegar a resistencias superiores a la esperada que es de 150 kg/cm^2 (2 133 PSI) en promedio llegó a alcanzar una resistencia de 6 033 PSI por lo que se considera adecuada para su uso.

La muestra presenta una buena retención de agua llegando a tener un 86 %, la norma indica que como mínimo debe tener un 75 % cumpliendo con el criterio.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las características físicas químicas y petrográficas de la arena volcánica proveniente del volcán de Fuego, la cual contiene cierta cantidad de sílice que para su uso individualmente puede ser perjudicial, sin embargo, por la recomendación de la norma NTG 41010 h13 se realizó el ensayo de barras de mortero, el cuál evalúa directamente el comportamiento del agregado con el cemento, obteniendo un buen comportamiento mecánico.
2. Se definió por medio del ensayo de barras de mortero la reactividad álcali- agregado, el cual indica el comportamiento del material con el cemento, el porcentaje de expansión no excede el límite de la norma por lo que se pueden obtener resultados satisfactorios empleándolo como agregado fino.
3. Se analizó las propiedades mecánicas del material mediante el ensayo a compresión de morteros, el cual demuestra un buen comportamiento del agregado para llegar a la resistencia deseada.
4. Se determinó mediante los ensayos que se realizaron a la muestra de la arena volcánica, su comportamiento en su uso en la construcción con los que se demuestran que si es apta para emplearse para el caso de morteros por su buena reacción con el cemento.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta que el material como uso individual puede ser perjudicial, por lo que no es conveniente utilizarlo lugares como peceras, o en plantas por tener un comportamiento deletéreo, perjudicial para seres vivos.
2. Realizar ensayos previos a su uso por las posibles variaciones de resultados que puedan tener al encontrar este tipo de material. La respuesta del porcentaje de expansión de la barra fue aceptable según la norma.
3. Emplear el agregado principalmente en morteros el cual es el enfoque de este documento. Las propiedades mecánicas que se obtienen en los morteros presentan una resistencia adecuada.
4. Considerar emplear material con las condiciones similares a la muestra empleada en este trabajo para conocer la tendencia de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. ADASKA, Wayne. *Controlled Low-Strength Materials (CLSM). Concrete Interntional*. [en línea]. <<https://www.osti.gov/servlets/purl/505263>>. [Consulta: 5 de marzo de 2021].
2. CIMARELLI Corrado; MÜLLER Sebastian. *Vocanes activos del mundo*. [en línea]. <<http://contenidos.inpres.gob.ar/docs/TIPOS%20DE%20ERUPCIONES%20VOLC%C3%81NICAS.pdf>>. [Consulta: 16 de septiembre de 2021].
3. CONTRERAS, Obed. *Comparación de metodologías en la aplicación de materiales flexibles y aditivos en morteros para impermeabilizar losas y muros*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 84 p.
4. ESTRADA, Brandon. *Características físicas, químicas y propiedades mecánicas del agregado fino proveniente del Río Motagua, en la altura km. 84 en la carretera Jacobo Árbenz Guzmán*. T Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 108 p.
5. FAO, *Agricultura en Guatemala, vulnerable a las erupciones volcánicas*. 06/06/2018. [en línea]. <<https://www.fao.org/guatemala/noticias/>>

detail-events/fr/c/1139152/>. [Consulta: 20 de septiembre de 2021].

6. GAITAN, Sergio. *Análisis mineralógico y exámen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 88 p.
7. GIL, Eduardo. *Evaluación y estudio del efecto en las propiedades físico, mecánicas y químicas derivadas de la integración alcali-agregado con el cemento portland puzolánico norma astm c-1157, utilizando como agregado la arena procedente de la erupción del Volcán de Pacaya*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 234 p.
8. INSIVUMEH, *Volcán de Fuego*. [en línea]. <<https://insivumeh.gob.gt/productos/geofisica/vulcanologia/boletines-semanales-de-volcanes/>>. [Consulta: 8 de agosto de 2021].
9. LPE. Ingeniería. *Reacción Alcali-Agregado (AAR)*. [en línea]. <<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/reacao-alkali-agregado-raa-ela-pode-afetar-o-pavimento-ou-piso-de-concreto/>>. [Consulta: 20 de octubre de 2021].
10. MEZA, Mildred; DÍAZ Erick. *Control de calidad en los rellenos fluidos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 114 p.

11. Norma ASTM C-289. *Gráfica clasificación entre los materiales inocuos, deletéreos y potencialmente deletéreos*. [en línea]. <<https://docplayer.es/90949856-Estudios-de-calidad-de-agregados-para-concreto-en-guatemala-aplicando-las-normas-astm-c-33-c-131-c-295-y-c-289.html>>. [Consulta: 10 de noviembre de 2021].
12. Norma Técnica Guatemalteca 41007. *Agregados para concreto*. [en línea]. <https://www.academia.edu/11097717/NORMA_T%C3%89CNICA_NTG_41007_GUATEMALTECA>. [Consulta: 22 de octubre de 2021].
13. OCHA. *Guatemala Equipo Humanitario de País Reporte de Situación No. 01(al 04/05/2018)*. [en línea]. <<https://reliefweb.int/report/guatemala/guatemala-equipo-humanitario-de-pa-s-report-de-situaci-n-no-05-al-27062018-erupci>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2021].
14. OLAGUE, Carlos. *Reacción álcali-sílice en áridos para pavimentos de hormigón en el estado de Chihuahua, México*. [en línea]. <<https://pdfs.semanticscholar.org/cfbc/8cd41e0d6e75b992aa681c8fa89a2cc1c156.pdf>>. [Consulta: 19 de agosto de 2021].
15. PEREZ, Álvaro. *Mortero para uso estructural*. [en línea]. <<https://www.smie.org.mx/archivos/eventos/2015/agosto/ponencia-mexico-cambio-para-siempre-desde-1985-norma-mexicana-nmx-c-486-onncce-2014-mortero-uso-estructural-alvaro-perez.pdf>>. [Consulta: 15 de mayo de 2021].

16. RIVERA, Eduardo. *Uso de los rellenos fluidos en la construcción*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 159 p.
17. Sullivan RW, Company. *Boston Harbor Tunnel Project Utilizes CLSM. Concrete International*. [en línea]. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12205-016-0731-y>>. [Consulta: 11 de abril de 2021].
18. WADDELL, Joseph; DOBROWSKI, Joseph, *Manual de la construcción con concreto I. Impurezas orgánicas en arenas*. 3a ed. México: McGraw-Hill. 1997. 106 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Informe de análisis completo de agregado fino para concreto Norma NTG 41007 (ASTM C-33)



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**USAC
TRICENTENARIA**
Universidad de San Carlos de Guatemala

INFORME DE ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO

NORMA NTG 41007 (ASTM C-33) **No. 18258**

O.T. No. 40685 INFORME SACM-016/21

HOJA 1/1

INTERESADO: Christian Alfredo Coyote Hernández, Registro académico: 2016 02703

PROYECTO: Trabajo de graduación titulado: "Caracterización de arena volcánica proveniente del Volcán de Fuego para su uso en la construcción"

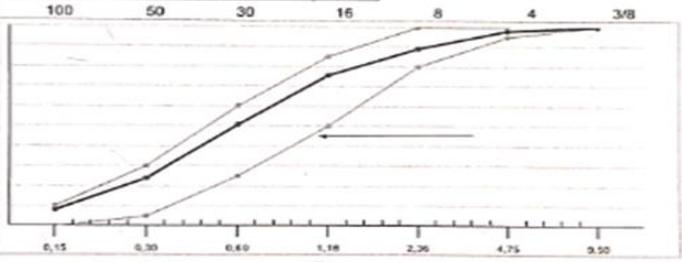
DIRECCIÓN: Guatemala.

RECEPCIÓN DE MUESTRA: 18 de febrero de 2021

EMISIÓN DE INFORME: 23 de febrero de 2021

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,74	Porcentaje de Absorción (%)	0,70
Densidad (sss) (kg/m ³)	2.730,00	Contenido de Materia Orgánica	2
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1.760,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	1,70
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1.640,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	0,70
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	36,00	Modulo de Finura	2,55
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	40,00		



Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	99,10	89,10	75,60	50,60	24,00	8,10

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua potable.
- Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo. Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Edma Yaris Mejicanos Jol

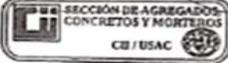
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Teima Marcela Cano Morales,

Directora CIUSAC



**SECCIÓN DE AGREGADOS-
CONCRETOS Y MORTEROS**
CI / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltrónens, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Ext. 86253 y 86252
Página web: <http://ci.usac.edu.gt>

Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 2. Informe Determinación de la reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



O.T. No. 40686
Informe QUINDLAFIQ
RG-358-003-21

Interesado: Christian Alfredo Coyote Hernández
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Características de arena volcánica proveniente del volcán de fuego para su uso en construcción"
 Muestra: Agregado fino
 Fecha recepción: 25 de febrero de 2021
 Fecha de Informe: 05 de marzo de 2021

Determinación de la Reactividad Potencial de agregados según norma ASTM C-289-07

Muestra de Arena

IDENTIFICACIÓN LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DEL INTERESADO	Reducción Alcalina RC (mmol/L)	Silice Disuelta SC (mmol/L)	RESULTADO
RG-360-003-21-F	Arena Volcán	165,7 ± 7,71	293,3 ± 2,82	POTENCIAL MENTE DELETEREO **

Muestra proporcionada por el interesado

Grafica Adjunta:
 Observaciones:
 ** Se recomienda efectuar análisis con las Normas ASTM C-277 y/o ASTM C-1260

Sin otro particular.

Atentamente,

MSc. Licda Inga Telma Benitez Pacheco
Coordinadora LAFIQ-DI



Inga César Alfonso García Guerra
Jefe de Sección Química Industrial-CII



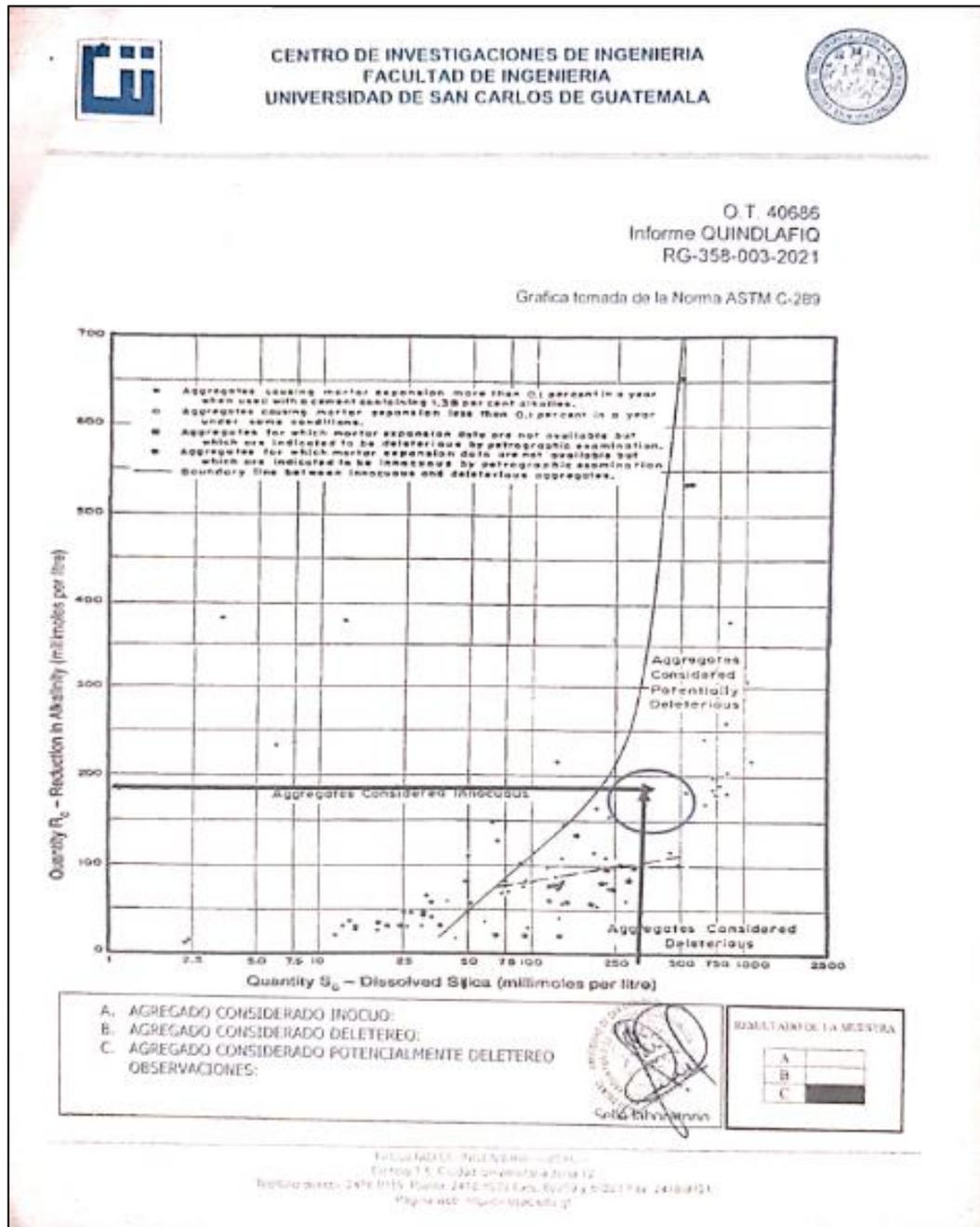
VoBo. Inga Telma Maricela Cano Morales
Directora

Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERIA — USAC —
Edificio 1.5, Casco Universitario zona 12
Teléfono-directo: 2416-0115. Fax: 2416-0120 Ext: 06201 y 05221 Fax: 2415-0121
Página web: <http://www.cii.usac.gt>

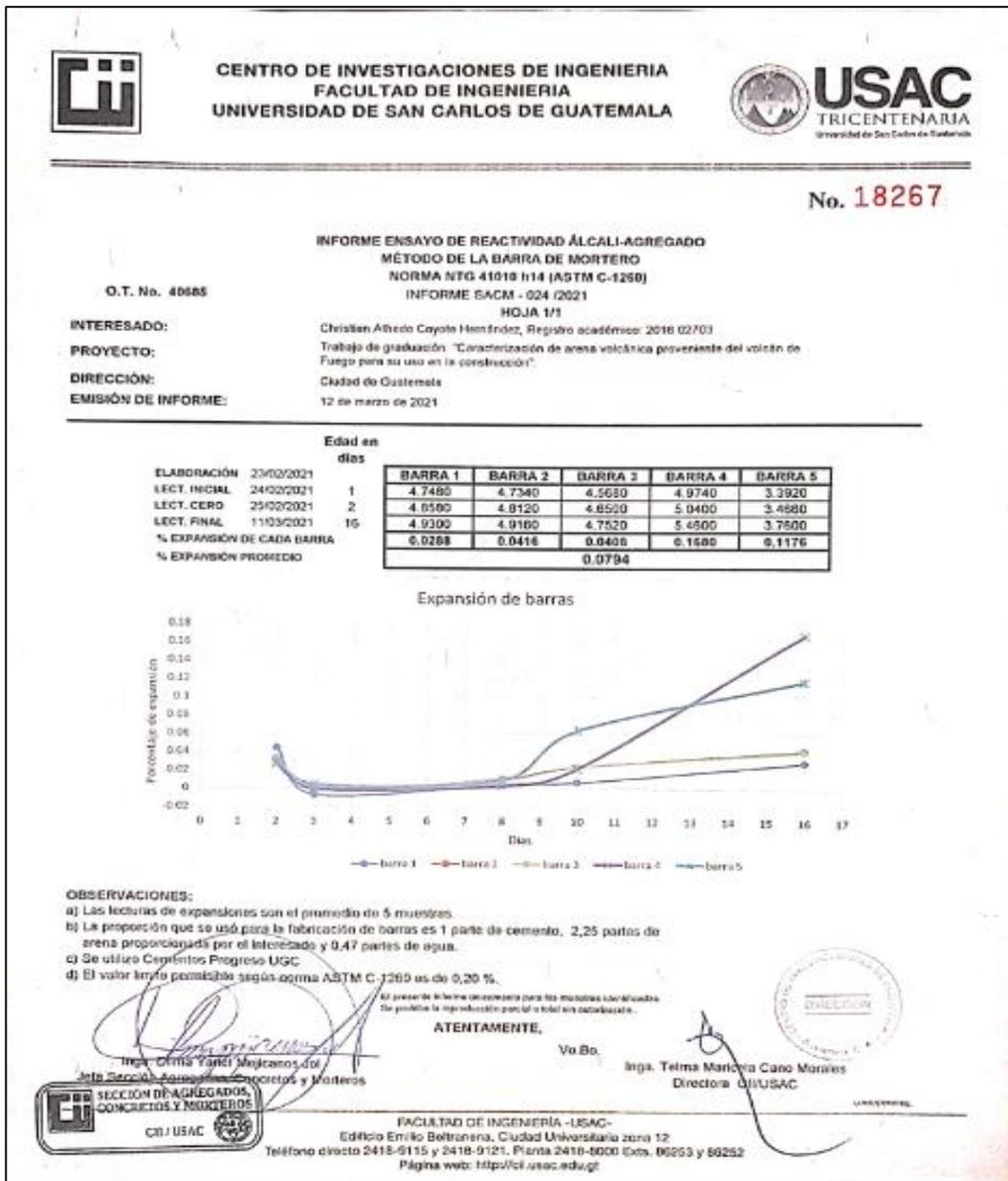
Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Continúa del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia, Centro de investigación de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 3. Informe de ensayo de reactividad álcali-agregado método de la barra de mortero norma NTG 41010 h14 (ASTM C-1250)



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Apéndice 4. Informe de A compresión de morteros y retención de agua norma NTG 41002 h4 (ASTM C109) y NTG 41004 h2 (ASTM C-1506)



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**USAC
TRICENTENARIA**
Universidad de San Carlos de Guatemala

**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS Y
RETENCIÓN DE AGUA**
NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109) Y NTG 41104 h2 (ASTM C-1506)
INFORME SACM - 035/2021
HOJA 1/1

No. 18278

O.T. No. 40685

INTERESADO: Christian Alfredo Coyote Hernández
PROYECTO: Trabajo de graduación titulado: "Caracterización de arena volcánica proveniente del Volcán de Fuego para su uso en la construcción"
DIRECCIÓN: Guatemala.
RECEPCIÓN DE MUESTRA: 18 de febrero de 2021
EMISIÓN DE INFORME: 19 de marzo de 2021

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm ²	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/in ²
1	19/2/2021	3	25,112	14 500	24,70	3 580
2	19/2/2021	3	25,470	13 500	22,70	3 290
3	19/2/2021	3	26,420	14 200	23,90	3 470
4	19/2/2021	7	26,163	17 500	29,70	4 310
5	19/2/2021	7	26,368	17 400	29,30	4 250
6	19/2/2021	7	26,061	16 400	28,00	4 060
7	19/2/2021	28	26,265	24 800	42,00	6 050
8	19/2/2021	28	25,908	25 600	43,90	6 370
9	19/2/2021	28	26,265	23 000	38,90	5 640

Retención de Agua (%)	77,00
-----------------------	-------

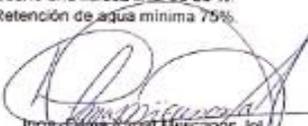
OBSERVACIONES:

- a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- b) Temperatura ambiente 21,10 °C y humedad relativa 68,0 % del laboratorio.
- c) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura de carga: 60 000 libras.
- d) Flujo de la mezcla: 113%.
- e) Proporción de la mezcla: 1 : 2,75 : 0,480.
- f) La muestra corresponde a: un saco de Cementos Progreso UGC, proporcionado por el interesado.
- g) Para el ensayo de retención de agua, se utilizó 200 g de cemento, 550 g de arena agregado fino y 95 ml de agua desmineralizada y debe tener un rango de fluidez de 110 ± 5 %.

Para el ensayo se obtuvo una fluidez inicial de 111 % y luego del procedimiento de succión de agua, se obtiene una fluidez final de 86 %.

h) Retención de agua mínima 75%.

Atentamente,

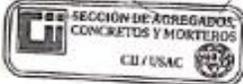


Inga Diana Herold Mujicados Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo Bo.



Inga Tatiana Cano Morales
Directora CIUSAC



FACULTAD DE INGENIERÍA -USAC-
Edificio Emilio Beltrarena, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121, Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252
Página web: <http://vci.usac.edu.gt>



Fuente: elaboración propia, Centro de Investigaciones de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

