



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

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS
DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR
LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC**

Gimy Anthony Iquique Siney

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS
DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR
LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GIMY ANTHONY IQUIQUE SINEY

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

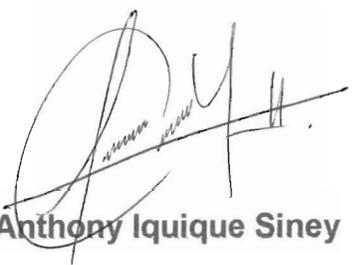
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 31 de octubre de 2011.



Gimy Anthony Iquique Siney



Guatemala, 16 de mayo de 2014

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC**, elaborado con el estudiante universitario Gimmy Anthony Iquique Siney, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por el estudiante universitario Iquique Siney, 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





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,
2 de julio de 2014

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 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Gimy Anthony Iquique Siney, quien 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

Guillermo Melini Salguero

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Gimy Anthony Iquique Siney, titulado ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, agosto 2014.

/bbdeb.

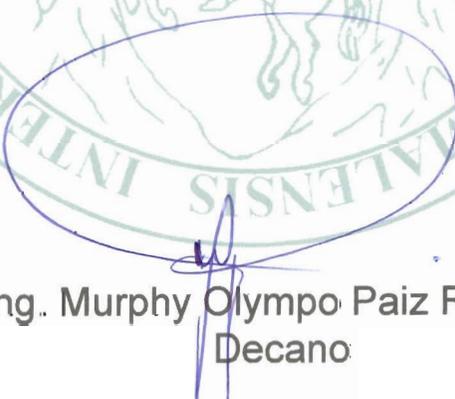
Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA COMO ADITIVO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO UGC**, presentado por el estudiante universitario: **Gimy Anthony Iquique Siney** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2014



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de toda sabiduría, por su infinita fidelidad al permitirme alcanzar esta meta.
La Virgen María	Por enseñarme siempre a ver delante, y dar siempre lo mejor de mí.
Mi madre	Paula Siney Boror, por apoyarme en cada etapa de mi vida y enseñarme que con trabajo y esfuerzo podemos alcanzar cualquier cosa que nos propongamos.
Mi padre	Abraham Iquique Gonzales (q.e.p.d.), por su apoyo incondicional y sabios consejos.
Mis abuelos	Simeón Siney y Josefa Boror (q.e.p.d.), a ambos por sus consejos tan sabios, y a inspirarme a seguir mis sueños.
Mis hermanos	Ana, Abraham, Olga, Luis, Gustavo y Jessica Iquique Siney, por su apoyo incondicional.
Mis sobrinos	Por inspirarme a seguir adelante día a día.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por haberme dado la oportunidad de culminar mi carrera profesional, y permitirme compartir este momento con las personas más importantes de mi vida.
Mis padres	Por todo el apoyo que incondicionalmente me han aportado.
Inga. Dilma Mejicanos Jol	Por su valiosa amistad, ayuda y sus conocimientos, que sin envidia ni recelo fueron compartidos, y sin los cuales no hubiese sido posible la elaboración del presente trabajo.
Centro de Investigaciones de Ingeniería	Por su asesoramiento y colaboración para la realización de este trabajo de graduación, gracias a todos.
Mis amigos	De trabajo y de promoción, gracias a todos por su apoyo.
La Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa de estudios y cuna de todas mis enseñanzas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Historia sobre el uso de las puzolanas	1
1.2. Palma africana	3
1.2.1. Historia sobre el uso de la palma africana	5
1.2.2. Situación del cultivo de palma africana en Guatemala	5
1.2.3. Productos derivados de la palma africana	7
1.2.4. Empresas productores de aceite de palma africana	8
1.2.5. Planta extractora Grupo Olmecca S. A.	9
2. GENERALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PUZOLANAS.....	11
2.1. Puzolana	11
2.2. Clasificación de las puzolanas	11
2.2.1. Puzolanas naturales	12
2.2.1.1. Origen volcánico	13
2.2.1.2. Origen orgánico	13
2.2.1.3. Origen sedimentario	14
2.2.2. Puzolanas artificiales	15

2.2.2.1.	Origen térmico	15
2.2.2.2.	Origen residual	16
2.3.	Ventajas del empleo de las puzolanas	17
2.4.	Reacción puzolánica	18
2.5.	Características químicas, físicas y mecánicas que deben presentar una puzolana artificial y natural	19
2.6.	Normas empleadas para la evaluación de las puzolanas	20
2.7.	Propiedades a evaluar en una puzolana	22
3.	DESARROLLO DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 41 044:87	23
3.1.	Preparación de la muestra	23
3.1.1.	Muestreo de la ceniza	23
3.1.2.	Tamaño y número de muestras	24
3.1.3.	Preparación de la muestra	24
3.2.	Análisis químico	25
3.2.1.	Contenido de humedad	25
3.2.2.	Pérdida por ignición	26
3.2.3.	Determinación del óxido de aluminio y óxido de hierro	26
3.2.4.	Determinación del óxido de calcio	27
3.2.5.	Determinación del óxido de magnesio.....	27
3.2.6.	Resultados.....	27
3.3.	Análisis físico	28
3.3.1.	Densidad relativa	29
3.3.2.	Finura	30
3.3.3.	Aumento a la contracción o encogimiento por desecación de barras de mortero	31
3.3.4.	Estabilidad del volumen	36

3.3.5.	Índice de actividad puzolánica	36
3.3.5.1.	Índice de actividad puzolánica respecto al cemento Portland	37
3.3.5.2.	Índice de actividad puzolánica respecto a la cal.....	40
3.3.6.	Contenido de aire en el mortero	41
3.3.7.	Requerimiento de agua	41
3.3.8.	Resultados.....	43
4.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	45
4.1.	Diseño de morteros	45
4.1.1.	Requerimiento de agua.....	47
4.1.2.	Resistencia a compresión	47
4.1.3.	Índice de actividad puzolánica	49
4.1.4.	Gráficas de resultados de los ensayos realizados.....	49
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
5.1.	Materiales	55
5.2.	Cenizas volante (Norma ASTM C-311, C-618)	57
5.2.1.	Ensayos físicos mecánicos.....	57
5.2.2.	Ensayos químicos	58
	CONCLUSIONES	61
	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65
	ANEXOS	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Bóveda del Panteón de Roma	2
2.	Planta de palma africana.....	4
3.	Mapa de ubicación de cultivos de palma africana	6
4.	Composición del racimo de palma africana.....	7
5.	Clasificación de las puzolanas	12
6.	Tamizado de la ceniza de palma africana	24
7.	Determinación de la densidad relativa	29
8.	Densidad relativa de los materiales (g/cm ³)	30
9.	Finura usando tamiz número 325 (45µm)	31
10.	Aumento de la contracción por secado de barras de mortero.....	35
11.	Resistencia a compresión, mezcla de cemento más puzolana y arena estándar	39
12.	Resistencia a compresión, mezcla de cal más puzolana y arena estándar	41
13.	Relación agua / cemento (a/c)	50
14.	Resistencia a compresión kg/cm ²	51
15.	Índice de actividad puzolánica (%) mezcla de ensayo I	52
16.	Índice de actividad puzolánica (%) mezcla de ensayo II	52

TABLAS

I.	Principales empresas y grupos palmicultores	8
II.	Ventajas de las adiciones de puzolanas en los cementos	17

III.	Porcentajes químicos en puzolanas artificiales y naturales.....	19
IV.	Condiciones físicas de las puzolanas artificiales y naturales.....	20
V.	Porcentajes de aumento o disminución de requisitos de agua en mezclas cemento Portland - puzolana.....	26
VI.	Resultados y requisitos de los ensayos químicos que debe poseer una puzolana para su adición al cemento	28
VII.	Fineza tamiz No. 325.....	31
VIII.	Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%.....	33
IX.	Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con mezcla patrón	33
X.	Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con mezcla de ensayo I	34
XI.	Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con mezcla de ensayo II	34
XII.	Aumento a la contracción o encogimiento de las barras de mortero	35
XIII.	Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%	38
XIV.	Resistencia a compresión a 28 días kg/cm ²	38
XV.	Índice de actividad puzolánica con respecto al cemento	39
XVI.	Índice de actividad puzolánica con respecto a la cal	40
XVII.	Requerimiento de agua para mezcla con proporción I	42
XVIII.	Requerimiento de agua para mezcla con proporción II	42
XIX.	Resumen de resultados de los ensayos físicos que debe poseer la ceniza de palma africana para su adición al cemento	43
XX.	Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%.....	47
XXI.	Resistencia a compresión kg/cm ²	48
XXII.	Índice de actividad puzolánica de las mezclas de ensayo	49

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CPA	Ceniza de palma africana
cm	Centímetro
D. C.	Después de Cristo
°C	Grados centígrados
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramos por centímetro cuadrado
psi	Libra por pulgada cuadrada
μm	Micrómetro o micra
AL₂O₃	Óxido de aluminio
CaO	Óxido de calcio
Fe₂O₃	Óxido de hierro
MgO	Óxido de magnesio
SiO₂	Óxido de silicio
%	Porcentaje

GLOSARIO

Álcalis	Nombre dado a los óxidos metálicos del cemento que al ser solubles en el agua pueden actuar como bases enérgicas.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials).
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Curado	Mantenimiento de un contenido de humedad y una temperatura satisfactorios en el concreto, durante sus etapas tempranas de manera que se puedan desarrollar las propiedades deseadas.
Relación a/c (w/c)	Es el resultado de dividir la masa del agua entre la masa del cemento utilizados en un concreto o mortero.
Resistencia a la abrasión	Capacidad de una superficie de resistir el desgaste por frotación y fricción.
Silicato de calcio hidratado	Silicato cálcico que ha sufrido una reacción de hidratación para convertirse en un gel cementoso.

Tobermorita

Mineral que se cuya fórmula aproximada, $\text{Ca}_5(\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, es un silicato de calcio hidratado en forma de cristales laminados que constituyen el principal medio cementante en el concreto de cemento Portland.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la ceniza de palma africana, generada durante el proceso de calcinación de los residuos de esta, como puzolana artificial (ASTM C-311 y C-618), y como adición en cal para morteros (ASTM C-593).

El muestreo de la ceniza de palma africana se realizó en las instalaciones de la fábrica OLMECA, S. A., luego de trasladar la ceniza al Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) se prepararon mezclas compuestas de cemento y ceniza (65% cemento y 35% ceniza volante), para su evaluación como puzolana artificial, determinando sus principales características físicomecánicas, así como su composición química de acuerdo a las normas ASTM y COGUANOR aplicables.

Finalmente se realizan los análisis y comparación de estudios experimentales que presentan las características de la ceniza de palma africana y su reacción puzolánica, al ser combinada con cemento Portland y cemento UGC. Los resultados obtenidos muestran la actividad puzolánica de las distintas muestras de ensayo, aunque, se recomienda profundizar más en los estudios, ya que, la variabilidad de las cenizas volantes influye en la calidad de cementos mezclados.

OBJETIVOS

General

La caracterización de la ceniza de palma africana, como material puzolánico, para determinar si es posible su uso debido a sus propiedades físicas, químicas y mecánicas como material cementante, utilizando Normas ASTM C-311 y COGUANOR NGO 41 044:87.

Específicos

1. Llevar a cabo una inspección del material usado como puzolana y determinar los procedimientos para maximizar su reactividad puzolánica.
2. Determinar las propiedades químicas que posee la ceniza de palma africana para su caracterización como puzolana artificial.
3. Establecer los porcentajes de resistencia que presentan los morteros con adición puzolánica con respecto a un mortero patrón con cemento Portland y arena estándar, con el fin de establecer su posible uso.
4. Especificar la reacción que presenta la puzolana artificial al ser mezclada con cal hidratada, según especificaciones de la Norma ASTM C-593.
5. Determinar la actividad puzolánica que presentan las mezclas elaboradas con cemento Portland y cemento UGC, adicionadas con ceniza de palma africana.

INTRODUCCIÓN

El uso de material puzolánico es una práctica bastante habitual en la preparación de concretos y morteros. La clave para el correcto uso de este tipo de materiales es conocer su capacidad de reacción frente a portlandita, Ca(OH)_2 , liberada por el cemento en su hidratación, es decir el desarrollo de la reacción puzolánica. Debido a la emisión de CO_2 ocasionada por las plantas productoras de *clinker*, se hace evidente la necesidad de buscar nuevos procesos o productos sustentables. Las puzolanas son complementos cementantes que reducen el consumo de *clinker*, evitando así, su producción excesiva.

En Guatemala y la región centroamericana el cultivo de palma africana inicio a mediados de los años 70. En la actualidad la producción ha tomado gran importancia, debido a que se produce mayor cantidad de aceite por unidad de área. El estudio e investigación de las características y propiedades de la ceniza de palma africana permitirá determinar si esta puede utilizarse como una puzolana, para mejorar las características del cemento.

Actualmente la ceniza de palma africana es considerada como desperdicio, sin embargo, al especificar la actividad puzolánica de la ceniza, como puzolana artificial, se logrará determinar su utilización en algún proceso de construcción, donde se empleen cementos. Esto ayuda a eliminar la acumulación de la ceniza y disminuir la producción de *clinker*.

1. ANTECEDENTES

1.1. Historia sobre el uso de las puzolanas

La puzolana es el nombre que recibe la ceniza volcánica, proveniente de la población de Puzzuoli, en las faldas del volcán Vesubio, donde ya era explotada en tiempos de los romanos. Este fue el siguiente material de construcción más antiguo luego de la cal y la piedra caliza, que fue empleada por el hombre prehistórico. Posteriormente el término fue extendiéndose a todos aquellos materiales que por sus propiedades similares a la puzolana de origen natural podían tener usos sustitutivos.

La cal y la caliza son materiales prehistóricos utilizados con fines constructivos, entre las construcciones que utilizaron la caliza se podrían mencionar las pirámides de Egipto, las cuales datan de más de 4 500 años. Los egipcios utilizaron yeso calcinado impuro para unir los bloques de sus pirámides. Posteriormente el siguiente material utilizado fue la puzolana natural combinada con cal.

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, es una de las mayores construcciones de concreto no armado que existen en el mundo, la cual fue construida mezclando cal, puzolana y agua; añadiendo en las partes interiores ladrillos rotos a modo de los actuales áridos, aligerando el peso en las capas superiores usando materiales más ligeros como piedra pómez.

Figura 1. **Bóveda del Panteón de Roma**



Fuente: <http://faircompanies.com/news/view/10-invencionesl-pasado-que-tendran-un-gran-futuro/>. Consulta: 12 de septiembre de 2013.

Entre 1500 y 1600 A. C., en la isla de Thera, ahora Santorini, Grecia, las erupciones volcánicas violentas produjeron materiales puzolánicos, los cuales, los constructores griegos combinaron con cal para producir morteros.

En el 79 D. C., la erupción del Vesubio en Italia, destruyó Pompeya, Herculam y otras ciudades a lo largo de la bahía de Nápoles. Este hecho expulsó material volcánico que posteriormente los romanos utilizaron para construir obras que se mantiene en pie, dando un ejemplo sobre la durabilidad en la construcción. Durante los 600 años del dominio de los romanos estos utilizaron una variedad de puzolanas en sus construcciones a través de su imperio.

La cultura de los totonacas en México, floreció entre el 100 y 1100 D. C., ellos utilizaron puzolanas para construir techos planos y ligeros en sus palacios y en sus edificios administrativos en la zona conocida como: El Tajin Chico, en la ciudad prehispánica de Tajin.

Las civilizaciones de la India y los egipcios se familiarizaron con los morteros y concretos resistentes al agua hechos con cementos cal-puzolana, la fuente de la puzolana siendo ladrillos, tejas y materiales de alfarería triturada y calcinada.

El descubrimiento de la cal hidráulica en el siglo XVIII, fue la precursora de la invención del cemento Portland, cambiando el uso de la cal y de la cal-puzolana por este nuevo material, y fue hasta 1824 cuando se patentó el cemento Portland por Joseph Aspdin, esta fecha fue el parte aguas para la generación de los nuevos morteros y concretos que aunados al avance de la tecnología del concreto, se han usado alrededor del mundo para lograr construcciones de concreto sustentable.

En años recientes las investigaciones en el área de las puzolanas se han enfocado principalmente en el estudio de los subproductos industriales, debido a que los países desarrollados y con mayor recursos para la investigación en lo que respecta a las puzolanas naturales, esto involucra sobre todo a aquellos países donde se tienen grandes yacimientos como el caso de Italia, México, Francia, Grecia, Chile, donde se utilizan ampliamente.

1.2. Palma africana

Esta palmera, *Elaeis guineensis*, pertenece a la familia Palmáceas. Es una planta de hasta 20 metros de altura cuyo tronco termina en una corona de hojas *pinnadas*. Su área de distribución natural es la zona tropical del oeste de África, pero se ha aclimatado en las regiones sudamericanas con condiciones físicas similares.

Figura 2. **Planta de palma africana**



Fuente: http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera_coroto_de_guinea_aabora.htm. Consulta: 1 de septiembre de 2013.

Esta planta precisa suelos fértiles y estaciones lluviosas que produzcan inundaciones. Tiene un crecimiento rápido y excelente rendimiento, después de los cuatro años de haber sido sembrada la planta. La importancia económica radica en sus frutos, los cuales, producen grasa vegetal durante todo el año, es por ello que actualmente el cultivo de palma se esta posicionando como el segundo aceite vegetal en volumen de consumo mundial.

La palma aceitera, conocida también como palma africana, es una palmera tropical que crece en climas cálidos en la franja ecuatorial de la Tierra. Puede crecer entre los 8,3 y 20 metros de altura, pero también se conocen variedades de menor tamaño. Pertenece al género *Elaeis*, junto con otras dos especies: la palma americana o noli (*E. oleifera*) y el corozo (*E. odora*).

1.2.1. Historia sobre el uso de la palma africana

La palma aceitera o palma africana es nativa de África tropical, se extiende desde el Congo hasta Sierra Leona, en donde las poblaciones locales emplearon la palma para los más diversos usos, desde alimenticios hasta medicinales, pasando por el aprovechamiento de las fibras y el uso de la savia para fabricar vino de palma.

Actualmente, la palma africana pasa de ser una especie silvestre, o de cultivársele a una escala pequeña en las tierras de África occidental, a convertirse en extensos monocultivos, con fines industriales, para obtener aceite que será utilizado como combustible principalmente de vehículos.

1.2.2. Situación del cultivo de palma africana en Guatemala

El cultivo de la palma africana en Guatemala comenzó hace alrededor de 60 años, pero es hasta la década de 1970, cuando sustituyó al algodón, que tomó importancia. Los primeros cultivos se instalaron en la costa sur, en la boca costa y en la costa de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Suchitepéquez y Escuintla.

En 1990 se iniciaron los cultivos en el departamento de Izabal, y a finales de esos años se comenzó a sembrar en Sayaxché, Petén. Alrededor de 2005, comenzaron las plantaciones en la Franja Transversal del Norte (FTN), específicamente en los municipios de Ixcán, Quiché; Chisec, Fray Bartolomé de Las Casas, Chahal, y Cobán, Alta Verapaz.

La Gremial de Palmicultores de Guatemala (GREPALMA), en el estudio de *el mercado de los agrocombustibles*, reveló que existía un área potencial de aproximadamente 743 400 hectáreas equivalentes a 7 434 kilómetros cuadrados para el cultivo de palma de aceite.

Figura 3. **Mapa de ubicación de cultivos de palma africana**



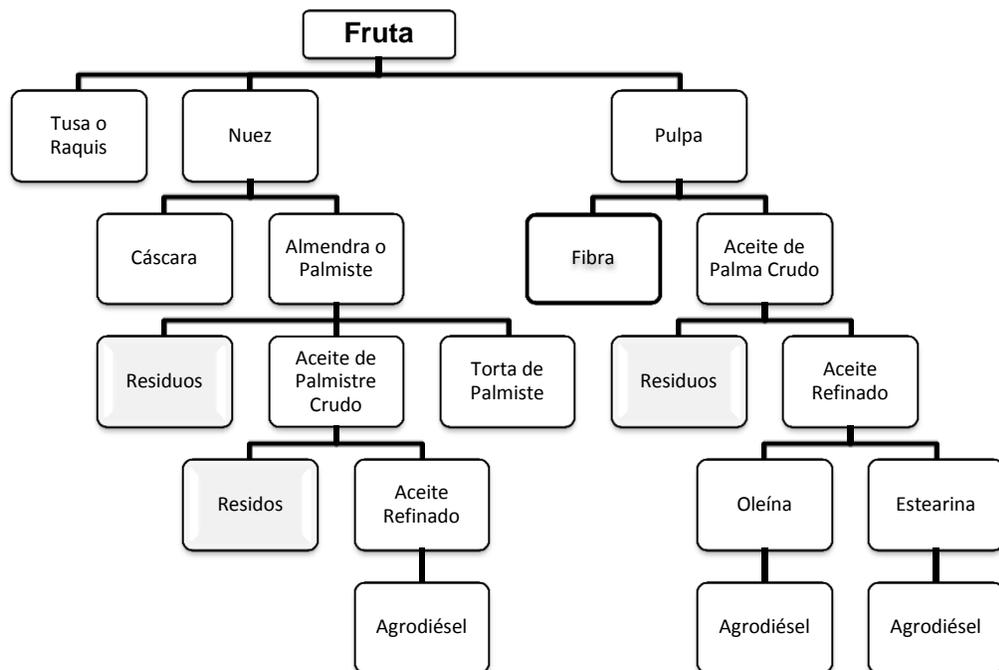
Fuente. elaboración propia.

En Guatemala se produce, en promedio, 7 toneladas de aceite por hectárea, por lo que es considerada como uno de los principales países productores de palma africana.

1.2.3. Productos derivados de la palma africana

De la palma africana se producen dos importantes aceites; aceite de palma crudo y aceite de palmiste. El primero, se utiliza como aceite comestible y el segundo, es utilizado para la fabricación de jabones, suavizantes textiles, alcoholes grasos y detergentes. El aceite crudo de palma se obtiene de la pulpa del fruto de la palma africana y el aceite de palmiste y la harina de palmiste se extrae de la nuez o semilla.

Figura 4. Composición del racimo de palma africana



Fuente: estudio: *El mercado de las agrocombustibles: Destino de la producción de la caña de azúcar y la palma africana de Guatemala.* p. 35.

1.2.4. Empresas productores de aceite de palma africana

Guatemala cuenta con más de 40 empresas dedicadas al cultivo y producción de aceite de palma de palma, según la GREPALMA O GREPAGUA. Sin embargo, la mayoría de producción es efectuada por tres grandes empresas que son:

- Agroindustrias HAME
- Inversiones de Desarrollo (INDESA) y
- AGROCARIBE

Tabla I. Principales empresas y grupos palmicultores

Empresa	HAME	INDESA	AGROCARIBE	Tikindustrias	Palmas del Ixcán	NAISA
Ubicación geográfica	Tecún Umán, San Marcos; Coatepeque, Quetzaltenango ; Tiquizate y La Gomera, Escuintla; Sayaxché, Petén; y Fraijanes, Guatemala	Mariscos, y El Estor, Izabal; Fray Bartolomé de las casas y Chahal, Alta Verapaz	Morales, Izabal.	Sayaxché, Petén.	La Soledad, Petén; Ixcán, Quiché; Playitas y Rubelsanto, Chisec, Alta Verapaz.	Sayaxché, Petén.
Capacidad de producción de aceite	450 TM diarias	64 mil toneladas al año	26 mil a 42 mil toneladas al año	No hay dato disponible	212 mil toneladas al año	45 toneladas por hora
Producción de agrodiésel	No	Si	No	No	No	No

Fuente: *Estudio: el mercado de las agrocombustibles: Destino de la producción de la caña de azúcar y la palma africana de Guatemala.* p. 76.

1.2.5. Planta extractora Grupo Olmeca S. A.

Grupo Olmeca S. A. es una de las plantaciones más grandes del país, la cual, cuenta con más de 7 plantas extractores de aceite. Actualmente posee plantas de extracción de aceite de palma africana, en los departamentos de Escuintla, Quetzaltenango, San Marcos, Izabal y Petén. Además posee una refinería localizada en el municipio de Fraijanes, Guatemala.

Olmeca es considerado como uno de los mayores productores de aceites, margarinas y aderezos en Guatemala, con una capacidad para procesar más de 30 toneladas de fruta fresca por hora. Según información reportada en 2005, de las 50 mil hectáreas sembradas con palma africana en todo el país, 32 mil son propiedad de la fábrica Olmeca.

Esta empresa fabrica una serie de productos derivados de grasas naturales, sin embargo, su producto líder es el aceite vegetal fabricado de palma africana. Actualmente los productos disponibles son:

- Aceite vegetal
- Aceite vegetal doblemente refinado
- Mantecas para consumo diario e industrial
- Margarinas
- Aceite vegetal RBD a nivel industrial

2. GENERALIDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PUZOLANAS

Los usos o formas de emplear una puzolana dependen de sus características físicas, químicas y mecánicas, así como las proporciones que se empleen de la misma.

2.1. Puzolana

Es todo material natural o artificial que contienen minerales silíceos y aluminosos con escaso valor cementante, pero finalmente dividido y en presencia del agua reacciona químicamente, a temperatura ambiente para formar compuestos que tiene propiedades cementantes.

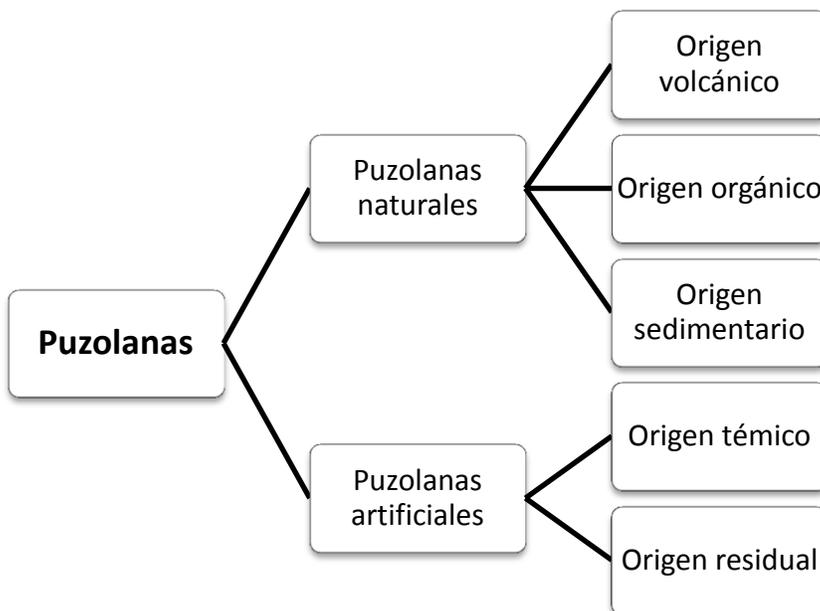
Estos materiales deben su actividad química a la cantidad de material amorfo y de minerales (olivino, piroxenas, hornablendas, feldespatos), desarrollando la mayoría de ellas su actividad hidráulica como consecuencia del material amorfo, materiales activos y la superficie específica que les caracteriza.

2.2. Clasificación de las puzolanas

Actualmente el término puzolana se aplica a todo material que presenta una composición y comportamiento mecánico similar al de un material natural de origen volcánico, independientemente de su origen y/o composición.

Hoy en día son los materiales procesados, los cuales se emplean comúnmente como puzolanas después de realizar el proceso, su transformación que los llevará a convertirse en un polvo fino empleado en la combinación de cemento Portland-puzolana. Estos materiales incluyen arcillas calcinadas, esquistos calcinados y metacaolinita.

Figura 5. **Clasificación de las puzolanas**



Fuente. elaboración propia.

2.2.1. **Puzolanas naturales**

Este tipo de puzolanas se componen principalmente de materiales de origen volcánico, orgánico y sedimentario, pudiendo ser estas rocas volcánicas de naturaleza diversa; traquítica alcalina, pumicita, tobácea, entre otros, o también rocas de origen orgánico, tierras de diatomeas o de infusorios de carácter fósil con naturaleza y composición a base de sílice activa.

2.2.1.1. Origen volcánico

Son materiales que se forman de la deposición de polvo y cenizas volcánicas. Pueden surgir en la naturaleza en forma de rocas consolidadas y como estado fragmentado no consolidado. Estas presentan un enfriamiento rápido y en algunos casos subsecuentes alteraciones químicas, que han conducido a la forma de compuestos zeolíticos. Generalmente, esta alteración es atribuida a la acción de vapor supercalentado y al dióxido de carbono debajo de la superficie terrestre. Aquí se pueden encontrar las cenizas volcánicas y tobas volcánicas que básicamente son productos generados a través de una actividad volcánica.

Las cenizas volcánicas se constituyen de fragmentos vítreos pulverizados, mientras que, las tobas volcánicas se caracterizan por una alta superficie específica, que les permite desarrollar gran afinidad a la reacción con la cal liberada del *clinker*.

2.2.1.2. Origen orgánico

Entre estas se encuentran las tierras de diatomeas y los esquistos opalinos. La diatomita o tierras de diatomeas es un material compuesto por esqueletos silíceos de microorganismos, depositado en agua de mar o lacustre, son ricas en sílice hidratada. Estas poseen una muy alta finura y superficie específica, así como un elevado contenido de sílice amorfa altamente reactiva.

Frecuentemente se encuentran contaminadas por arcilla o arena, por lo cual, un tratamiento de calcinación, a temperatura inferior a la de fusión, mejora las propiedades de las tierras de diatomeas a fin de requerir menor cantidad de agua. A pesar del comportamiento notablemente bueno de la diatomita como

puzolana, su empleo en cementos está frenado por la elevada cantidad de agua que consumen, lo que repercute en las resistencias mecánicas. En Guatemala, se pueden encontrar bancos de diatomita en los departamentos de Guatemala, Chiquimula, Jalapa y Zacapa.

Los esquistos opalinos son rocas metamórficas constituidas de sílice puro, producto de la cristalización de aguas. Además pueden contener del 5 al 10 por ciento de calcio, resultando en un material con alguna propiedad cementante o hidráulica. La mayoría de esquistos procede de arcillas y lodos que han sufrido una serie de procesos metamórficos, incluyendo la producción de pizarras y filita.

A diferencia de una ceniza volante, la pérdida por ignición no es una medida o indicador de la cantidad de carbono presente en el esquisto calcinado. Este tipo de material en dosis normales, generalmente tienen poco efecto sobre la demanda de agua, así como poco efecto sobre el tiempo de fraguado, sin embargo, normalmente mejoran la trabajabilidad de concretos con el mismo revenimiento (asentamiento).

2.2.1.3. Origen sedimentario

Son puzolanas generadas por una descomposición o alteración natural de las rocas. Entre las puzolanas de origen sedimentario se pueden encontrar las arcillas y zeolitas. La arcilla es un material derivado de la descomposición natural de rocas que contienen feldespato, mineral tecto y aluminosilicato. Cuando los suelos arcillosos son horneados, las moléculas de agua se liberan, formando un material casi amorfo y reactivo con la cal.

Actualmente la arcilla es considerada como un coloide de partícula extremadamente pequeña y superficie lisa, la cual se caracteriza por presentar plasticidad al entrar en contacto con agua y dureza al calentarla por encima de 800 grados Celsius.

Las zeolitas son vidrios volcánicos que han sufrido alteración hidrotermal y se pueden encontrar como tobas. Este material es un grupo de aluminosilicatos hidratados de metal alcalino y alcalino-terreos. Es utilizado en la industria de la construcción por sus diversas propiedades, tales como mayor resistencia a mayor edad, menor calor de hidratación, durabilidad, entre otros.

2.2.2. Puzolanas artificiales

Son subproductos de procesos industriales y materiales tratados térmicamente, por lo cual requieren equipo para su disposición. Normalmente se requiere un tratamiento para obtener la mayor reactividad de las mismas.

Entre otras se pueden citar a la ceniza volante, derivado de la quema de carbón, el humo de sílice, proveniente de aleaciones de hierro-silicio, las escorias de fundición, proveniente de la industria metalúrgica y las cenizas de la cascarilla de arroz, entre otras. Las puzolanas artificiales se pueden dividir en dos grandes grupos que son: las de origen térmico y las de origen residual.

2.2.2.1. Origen térmico

Son puzolanas que necesitan un tratamiento térmico para desarrollar propiedades cementantes para su adición con el cemento. La arcilla calcinada, por ejemplo, para lograr una desarrollar una plasticidad óptima es necesario que se realice el proceso de calcinación a una temperatura entre 700 y 800

grados centígrados. Generalmente, la mejor arcilla para uso como puzolana es la plástica, la cual se emplea en la alfarería y en la fabricación de tejas.

Las arcillas calcinadas fueron los primeros materiales utilizados como puzolanas en forma de polvo producido de la molienda de ladrillos, alfarería y tejas, que se mezclaron con cal para producir cementos para morteros.

La metacaolinita, una arcilla calcinada especial, es producida por la calcinación a una baja temperatura de la arcilla caolín de pureza alta. Resultados de laboratorio han demostrado que la adición de arcilla calcinada como sustitución del cemento Portland favorece el proceso de hidratación del cemento.

2.2.2.2. Origen residual

En esta calificación se puede encontrar la ceniza volante, la escoria granulada de alto horno y humo de sílice que son productos generados como remanente de un proceso industrial.

Las propiedades puzolánica de las cenizas fueron reportadas por Davis en 1937, desarrollándose el uso de estas en la década siguiente sobretodo en Estados Unidos, donde se aplicó el uso en construcciones masivas de concreto como represas. Este es un residuo finamente dividido del producto de la combustión del carbón mineral en las plantas generadoras de electricidad.

Las propiedades hidráulicas de las cenizas volantes residen en la composición química, mineralógica, finura y estado físico. Las cenizas volantes con escaso contenido de CaO permiten mejorar la trabajabilidad, presentando poca actividad hidráulica en las resistencias a mayores edades, por su parte las

cenizas volantes ricas en CaO, tienen mayor actividad hidráulica y menor contenido de partículas esféricas que mejoran la trabajabilidad.

2.3. Ventajas del empleo de las puzolanas

Actualmente existe una gran variedad de puzolanas naturales y artificiales, y cada una de estas proporciona mejoras al cemento, dependiendo el porcentaje utilizado para la fabricación de cementos, concretos o morteros. Todas estas mejoras hacen aptos a los cementos puzolánicos para una amplia serie de trabajos propios de la construcción.

Tabla II. **Ventajas de las adiciones de puzolanas en los cementos**

CARACTERÍSTICA	VENTAJAS
Resistencia mecánica	A largo plazo, prolonga el periodo de endurecimiento
	A tracción
	A compresión
	Mejor relación tracción-compresión
Estabilidad	Frente a la expansión por cal libre
	A la expansión por sulfatos
	A la expansión por la reacción álcalis - agregado
	A la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c
	A la retracción térmica por enfriamiento
	Frente a la fisuración
Durabilidad	A ataques por agua puras y ácidas
	A ataques por aguas y suelos sulfatados
	A ataques por agua de mar
	A ataques por gases de descomposición y fermentación de materia orgánicas
	A la desintegración por la reacción álcalis-agregado
Plasticidad	Rebajando la relación a/c
	Reduciendo la segregación

Continuación de la tabla II.

	Evitando la exudación y el sangrado
Impermeabilidad	Reduciendo la porosidad
	Evitando la formación de eflorescencias
	Produciendo la mayor cantidad de Tobermorita
Adherencia	Del agregado a la pasta
	Del mortero a las armaduras
Comportamiento térmico	Al liberar menor calor de hidratación
	Al producir menor elevación de temperatura

Fuente: elaboración propia.

2.4. Reacción puzolánica

Al reaccionar el cemento Portland y la puzolana, en presencia de agua, dicha mezcla lleva a cabo una reacción similar a la reacción ácido-base, en la cual participa la cal y los álcalis liberados por la reacción de hidratación del cemento Portland y los óxidos ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) de una puzolana. La presencia de una puzolana en el sistema de hidratación modifica los mecanismos de hidratación de los principales compuestos del cemento, afectando el calor de hidratación, contenido en la portlandita, la cantidad de agua (relación agua/cemento) y el grado de la reacción de los componentes.

Los principales factores que influyen en la reacción puzolánica son:

- Las fases activas de la puzolana y su naturaleza
- Proporción de la puzolana en el cementante
- Cal disponible para reaccionar
- Área superficial de la puzolana

- Relación A/CM de la mezcla
- Tiempo y tipo de curado
- Temperatura de curado

El principal producto de la reacción puzolánica es silicato de calcio hidratado (CSH), el cual es similar al producido en la reacción del agua con el cemento Portland. Este contribuye a la resistencia mecánica de las pastas, especialmente a edades avanzadas de hidratación.

2.5. Características químicas, físicas y mecánicas que debe presentar una puzolana artificial y natural

Las características químicas, físicas y mecánicas de puzonalidad, que deben cumplir las puzolanas cuando tengan que utilizarse como un producto de adición activo en las formas antes mencionadas, se presentan a continuación.

Tabla III. Porcentajes químicos en puzolanas artificiales y naturales

Descripción	Puzolanas naturales	Cenizas Volantes
Dióxido de silicio (SiO_2) + óxido de aluminio (Al_2O_3), mínimo.	70%	70%
Óxido de magnesio (MgO), máximo	5%	5%
Óxido de sodio + potásico, expresados como óxido sódico (Na_2O), máximo	1,5%	1,5%
Trióxido de azufre (SO_3), máximo	3%	4%
Pérdida por calcinación sobre muestra seca, máximo	10%	8%
Actividad puzolánica resistencia a compresión del mortero cal-puzolana, a siete días, mínimo	15%	75%

Fuente: PCA research and development Bulletin RD112T.

A continuación se muestran las condiciones físicas que deben presentar las puzolanas naturales y artificiales en combinación directa para la fabricación de un concreto, mortero o cemento puzolánico.

Tabla IV. **Condiciones físicas de las puzolanas artificiales y naturales**

Finura: superficie específica, en cm^2/g , mínimo	6,50
Material retenido sobre el tamiz #325, máximo	20%
Humedad: contenido de agua, máximo	3%
Regularidad: cada uno de los resultados individuales de los ensayos efectuados con muestras de puzolana, en número no inferior a diez, diferirán de la media aritmética de aquellos, en menos de los porcentajes siguientes:	
Para la superficie específica	15%
Para el peso específico	5%
Homogeneidad: el material puzolánico deberá quedar homogéneamente distribuido en toda la masa de concreto o mortero durante el amasado de éste.	

Fuente: PCA research and development Bulletin RD112T.

2.6. Normas empleadas para la evaluación de las puzolanas

El empleo extensivo de los cementos puzolánicos y el mejor conocimiento de sus características físico-químicas, ha llevado a la normalización de este tipo de cemento. En Guatemala el ente encargado de regular las normas es la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). La principal función de COGUANOR es desarrollar actividades de normalización que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas nacionales y elevar la calidad de los productos y servicios de dichas empresas, las cuales ofertan en el mercado nacional e internacional.

Para la evaluación de materiales puzolánicos, existe una gran variedad de normas y métodos, los cuales especifican el tipo de características que debe tener un material para ser considerado útil. Sin embargo esto depende de las características químicas, físicas y mecánicas que posea el material, así como la forma en que reacciona al combinarla con algún aglomerante.

Para esta investigación se utilizaron las Normas COGUANOR y ASTM, las cuales sirvieron de base para el desarrollo de la investigación de las propiedades puzolánicas que puede tener la ceniza de palma africana. A continuación se describen las mismas.

- Normas COGUANOR NGO 41 0044:87: muestreo y métodos de análisis de cenizas volantes de carbón y de puzolanas naturales, empleadas como aditivo mineral al hormigón (concreto) de cemento Portland.
- Normas COGUANOR NGO 41 0017 h1: método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- Normas ASTM C-595: *estándar* specification for blended hydraulic cements, (Normas de especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados).
- Norma ASTM C618: standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete (especificación estándar para carbón cenizas volantes y puzolana natural cruda o calcinada para uso en concreto).

2.7. Propiedades a evaluar en una puzolana

Es indispensable evaluar las características físicas y químicas de las puzolanas, con el fin de determinar el efecto en las propiedades finales del cemento o del concreto, según sea el caso se debe conocer los siguientes aspectos:

- Composición química (óxidos de sílice, hierro, aluminio, calcio, magnesio, álcalis y otros componentes menores).
- Propiedades físicas (finura-gravedad específica).
- Micro estructura.
- Espectroscopia IR y DRX (compuestos y cristalinidad).
- Actividad puzolánica (evaluación con cemento y cal, Normas ASTM).
- Requerimiento de agua.
- Efecto de contracción por secado.
- Efecto en las propiedades finales del cemento (calor de hidratación y resistencias mecánicas).
- Ensayos de durabilidad en concordancia con el medio de servicio.
- Proporción óptima de uso.
- Especificación del producto.

3. DESARROLLO DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE LA CENIZA DE PALMA AFRICANA SEGÚN NORMA COGUANOR NGO 41 044:87

Para la realización de la caracterización de las propiedades de la ceniza de palma africana se utilizó la Norma COGUANOR NGO 41 044:87, en la cual se establece el muestreo y los métodos de ensayo para las cenizas volantes de carbón y para las puzolanas naturales calcinadas o no, las cuales se emplean como aditivo mineral al concreto de cemento Portland.

3.1. Preparación de la muestra

El primer paso es la obtención y la preparación de la muestra, para lo cual se debe considerar lo especificado en la Norma COGUANOR NGO 41 044:87. Para obtener la muestra se utilizó el método individual establecido en dicha norma, el cual consiste en realizar el muestreo tomando una muestra para ensayo de 2 kilogramos o más de una sola extracción.

3.1.1. Muestreo de la ceniza

Se realizó el muestreo en las instalaciones de la empresa de fabricación de aceites y grasas de origen vegetal, Olmeca; luego fue trasladada al Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para su preparación y evaluación.

A la muestra se le realizaron los ensayos para lograr obtener sus propiedades (químicas, físicas y mecánicas), a fin de determinar su uso, dependiendo de los resultados obtenidos.

3.1.2. Tamaño y número de muestras

La empresa, Olmeca S. A. proporciono aproximadamente 5 kilogramos de ceniza de palma africana para la elaboración de dicha investigación. Según lo descrito en la norma empleada, esta cantidad es ideal para la realización de cada ensayo propuesto.

3.1.3. Preparación de la muestra

Después de una investigación visual se determino que la ceniza de palma africana tiene remanentes de contenido vegetal sin quemar, por lo cual se evaluó este parámetro. Para la determinación de las características físicas fue necesario tamizar la muestra, utilizando el tamiz número 100.

Figura 6. **Tamizado de la ceniza de palma africana**

a. Muestra de ceniza



b. Tamiz 150 μm (No. 100)



Fuente: Laboratorio de Morteros. CII/USAC. Junio 2012.

3.2. Análisis químico

El análisis químico de la muestra de ceniza de palma africana, muestra los porcentajes de contenido de los óxidos (aluminio, hierro, calcio, sílice y magnesio) necesarios para su implementación como aditivo en las mezclas de morteros y concretos.

Las características químicas a analizar son:

- Contenido de humedad
- Pérdida por ignición
- Óxido de aluminio
- Óxido de hierro
- Óxido de calcio
- Óxido de magnesio

3.2.1. Contenido de humedad

La humedad de una puzolana puede variar desde un 3 a 15 por ciento en promedio; dependiendo de la profundidad, lugar y condiciones climáticas en el momento de su extracción.

Las mezclas que contiene puzolanas normalmente requieren menos agua (cerca de 1 a 10 por ciento menos agua para dosis normales de cenizas) que una mezcla que contenga solo cemento Portland, dando como resultado un mismo asentamiento del cono de Abrams.

Tabla V. **Porcentajes de aumento o disminución de requisito de agua en mezclas cemento Portland - puzolana**

Tipo de Puzolana	Aumenta (%)	Disminuye (%)
Ceniza volante	1 - 5	1 - 10
Escoria	-	1 - 10
Humo de sílice	1 - 5	-

Fuente. elaboración propia.

3.2.2. Pérdida por ignición

La pérdida por ignición también conocida como pérdida por calcinación de una puzolana, se determina por el calentamiento de la muestra como se indica en la Norma COGUANOR NGO 41 003 H18. Normalmente, una gran pérdida por ignición es una indicación de prehidratación y carbonatación, estas debido a un almacenamiento prologado o de manera incorrecta.

3.2.3. Determinación del óxido de aluminio y óxido de hierro

Una ceniza volante es básicamente un vidrio de silicato que contiene sílice, alúmina, hierro y calcio. Mientras que como componentes menores tiene magnesio, potasio, azufre, carbono y sodio. Por tanto el contenido de estos componentes es vital para su utilización como una puzolana artificial. Para la determinar estos componentes se emplea la Norma COGUANOR NGO 41 003 H12 Y NGO 41003 H13.

3.2.4. Determinación del óxido de calcio

Según la Norma ASTM C 618, una ceniza volante se puede clasificar como clase N, F o C, según las características físicas, químicas y mecánicas que presenten. Los materiales de clase F son comúnmente cenizas volantes con bajo contenido de calcio (menor al 10 por ciento) y un contenido de carbono menor que 5 por ciento, aunque, puede contener hasta un 10 por ciento. Las cenizas de clase C presentan alto contenido de calcio (del 10 al 30 por ciento) y contenidos de carbono menor que 2 por ciento. Sin embargo, existen cenizas volantes que encajan en ambas clases F y C. Este componente se determina según lo descrito en la Norma COGUANOR NGO 41 003 h15.

3.2.5. Determinación del óxido de magnesio

El óxido de magnesio, potasio, azufre, carbono y sodio pertenece al grupo de componentes menores de una ceniza volante. Para su determinación se emplea la Norma COGUANOR NGO 41 003 h12.

3.2.6. Resultados

En la tabla VI se presentan los resultados obtenidos de los ensayos químicos especificados por la Normas COGUANOR 41 044:87. Además, se presentan los requisitos para su caracterización establecidos en la Norma ASTM C-618.

Tabla VI. **Resultados y requisitos de los ensayos químicos que debe poseer una puzolana para su adición al cemento**

Parámetro	Resultado (%)	Especificaciones ASTM C-618
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	10,33 ± 1,75	No especifica
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	4,44	No especifica
Óxido de calcio (CaO)	2,93 ± 1,03	No especifica
Óxido de magnesio (MgO)	5,01 ± 0,30	No especifica
Residuo insoluble	37,60 ± 1,56	No especifica
Pérdida por ignición	25,95 ± 0,07	10,0 % máximo
Humedad	6,167 ± 0,137	3,0 % máximo

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

3.3. Análisis físico

Las características físicas de las puzolanas provienen de su granulometría, tienen diversas formas y sus dimensiones varían de acuerdo a su naturaleza y estructura; pero habitualmente se componen de partículas finas y de poca densidad. Para su clasificación es necesaria la determinación de las siguientes propiedades:

- Densidad relativa
- Finura
- Aumento a la contracción o encogimiento por desecación de barras de mortero
- Estabilidad del volumen
- Índice de actividad puzolánica
- Contenido de aire en el mortero
- Requerimiento de agua

3.3.1. Densidad relativa

El cemento Portland tiene una densidad que varía de 3,10 a 3,25 gramos por centímetro cúbico, mientras que, la densidad de una ceniza volante normalmente varía de 1,90 a 2,80 gramos por centímetro cúbico y generalmente es de color gris o marrón. Esta propiedad se utiliza principalmente para cálculos de proporciones de mezclas. La Norma COGUANOR NGO 41 003 h2, muestra el procedimiento para la determinar la densidad absoluta.

Figura 7. Determinación de la densidad relativa

a. Frasco volumétrico de Le Chatelier



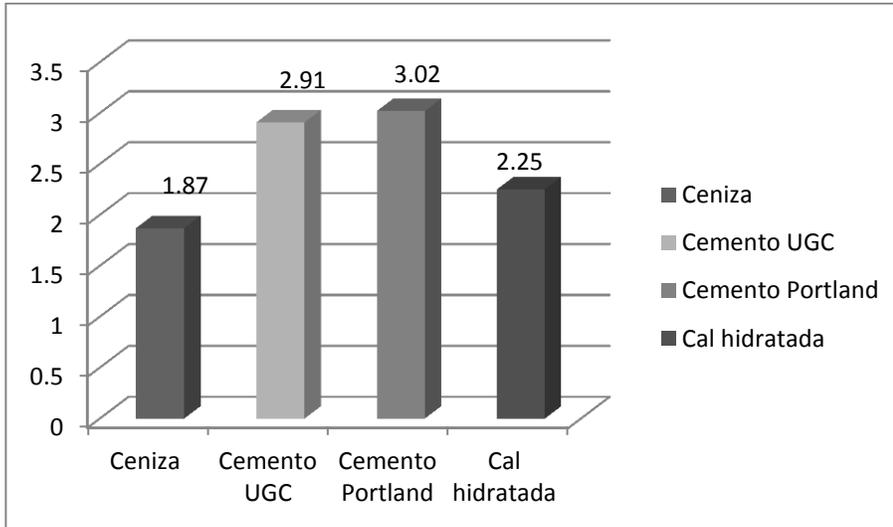
b. Determinación de la densidad relativa



Fuente: Laboratorio de Morteros CII/USAC. junio 2012.

Para la investigación se determina las densidades relativas de los distintos materiales (cemento, ceniza de palma africana y cal) que componen las distintas mezclas evaluadas. La figura 8 muestra los resultados obtenidos.

Figura 8. **Densidad relativa de los materiales (g/cm³)**



Fuente: elaboración propia, según resultados de ensayos.

3.3.2. Finura

Normalmente la fineza de una puzolana es mayor que la de un cemento Portland puro, como resultado, un cemento adicionado con puzolana posee una mayor fineza, lo que contribuye a desarrollar de mejor manera las reacciones de hidrólisis, aumentando los gradientes de resistencia a la compresión y flexo tracción, principalmente a corto plazo.

La Norma COGUANOR NGO41 003 h22 describe el procedimiento para la determinación de la finura usando un tamiz No. 325 (45µm), parámetro físico expresado como el porcentaje de puzolana que pasa por dicho tamiz. La tabla VII muestra los resultados obtenidos.

Tabla VII. **Fineza tamiz No. 325**

Muestra	% Finura
Ceniza de palma africana	33,83

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 9. **Finura usando tamiz número 325 (45µm)**

a. Colocación de la muestra



b. Lavado de la muestra



Fuente: Laboratorio de Morteros CII/USAC, junio 2012.

3.3.3. Aumento a la contracción o encogimiento por desecación de barras de mortero

Las características de la contracción por desecación del concreto es un factor necesario para el control de grietas. La contracción plástica produce grietas causadas por una rápida pérdida de agua, cuando el concreto es expuesto a un medio ambiente con atmósfera seca.

Cuando se adicionan pequeñas cantidades de puzolana a una mezcla de concreto, el efecto sobre la contracción por secado y fluencia del concreto es generalmente pequeño. Para la evaluación de esta propiedad la Norma COGUANOR NGO 41 044:87 establece utilizar las siguientes proporciones:

Proporciones:

Mezcla patrón

Cemento Portland 500,00 gramos

Arena Ottawa 1 375,00 gramos

Mezcla de ensayo I

Cemento Portland 500,00 gramos

Puzolana 125,00 gramos

Arena Ottawa 1 250,00 gramos

Mezcla de ensayo II

Cemento UCG 500,00 gramos

Puzolana 125,00 gramos

Arena Ottawa 1 250,00 gramos

Las mezclas deben contener la cantidad de agua necesaria para alcanzar un flujo de 100 a 115 por ciento en la tabla de flujo. Los datos que se obtenidos son:

Tabla VIII. **Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%**

Tipo de mezcla	Relación agua/cemento
Patrón	0,52
Mezcla I	0,58
Mezcla II	0,58

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Las mediciones de la longitud se realizan a la edad de 24 horas, 7 días y 28 días. Los resultados obtenidos son:

Tabla IX. **Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con mezcla patrón**

MEZCLA	Cemento Portland + Arena Ottawa + Agua			
BARRA MEZCLA PATRON	LECTURAS RELATIVAS	LECTURAS RELATIVAS		% DE CONTRACCIÓN
	Lectura comparación 24 H.	Longitud (mm)		
		7 días	28 días	
1	1,914	1,912	1,924	-0,005
2	3,012	3,008	3,032	-0,010
3	4,930	4,924	4,950	-0,010
		Promedio		-0,008

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Tabla X. **Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con mezcla de ensayo I**

MEZCLA I	Cemento Portland + Puzolana + Arena Ottawa + Agua			
BARRA MEZCLA + PUZOLANA	LECTURAS RELATIVAS			% DE CONTRACCIÓN
	Lectura comparación 24 H.	Longitud (mm)		
		7 días	28 días	
1	4,008	4,014	4,032	-0,007
2	1,020	1,026	1,042	-0,006
3	4,000	4,004	4,020	-0,006
		Promedio		-0,007

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Tabla XI. **Porcentaje de expansión de las barras de mortero elaboradas con la mezcla de ensayo II**

MEZCLA II	Cemento UGC + Puzolana + Arena Ottawa + Agua			
BARRA MEZCLA + PUZOLANA	LECTURAS RELATIVAS			% DE CONTRACCIÓN
	Lectura comparación 24 H.	Longitud (mm)		
		7 días	28 días	
1	5,120	5,130	5,146	-0,006
2	4,050	4,060	4,064	-0,002
3	4,038	4,048	4,058	-0,004
		Promedio		-0,004

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

El cambio de longitud que presenta las barras realizadas con las mezclas de ensayo se determina, según Norma COGUANOR NGO 41 044:87, como la diferencia de porcentaje de contracción o encogimiento de las barras mezcladas solamente con cemento Portland contra las barras con mezcla de cemento y puzolana. La tabla XII presenta los resultados obtenidos.

Tabla XII. **Aumento a la contracción o encogimiento de las barras de mortero**

Mezcla	% Contracción	Norma ASTM C 618 28 días (%)
Mezcla I	0,002	0,03
Mezcla II	0,004	0,03

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 10. **Aumento de la contracción por secado de barras de mortero**

a. Mezclador mecánico



b. Elaboración de barras de mortero



Continuación de la figura 10.

- c. Aumento de contracción por secado de barras de mortero



Fuente: Laboratorio de Morteros CII/USAC, julio 2012.

3.3.4. Estabilidad del volumen

También conocida como sanidad, es la habilidad de una mezcla de cemento en mantener su volumen. La expansión destructiva retardada o falta de sanidad puede ser causada por cantidades excesivas de cal libre o magnesia. Las especificaciones para cementos adicionados con puzolana limita la expansión o contracción máxima a un 0,8 por ciento de su volumen inicial.

3.3.5. Índice de actividad puzolánica

El índice de actividad puzolánica es el valor que expresa la capacidad de la puzolana para reaccionar a la portlandita (hidróxido de calcio), formando compuestos cementicos. Este se determina calculando la resistencia a la compresión de un mortero de cal hidratada o cemento Portland, al cual se agrega una proporción de puzolana.

3.3.5.1. Índice de actividad puzolánica respecto al cemento Portland

Este es el porcentaje de resistencia a la compresión que presenta un mortero compuesto de cemento Portland y puzolana, con respecto a una mezcla patrón compuesta sólo de cemento Portland. Para comparar la reactividad de una puzolana, la Norma COGUANOR NGO41 0044:87 establece reemplazar el 35 por ciento del volumen absoluto del cemento por puzolana.

El índice de actividad puzolánica con respecto al cemento se realiza por medio de la comparación con una mezcla llamada patrón, la cual fue de cemento Portland sin adición de ceniza de palma africana y dos mezclas de ensayo con adición de puzolana. Las proporciones utilizadas fueron:

Proporciones:

Mezcla patrón

Cemento Portland 250,00 gramos

Arena Ottawa 687,50 gramos

Mezcla de ensayo I

Cemento Portland 145,00 gramos

Puzolana 54,18 gramos

Arena Ottawa 687,50 gramos

Mezcla de ensayo II

Cemento UCG 162,50 gramos

Puzolana 54,18 gramos

Arena Ottawa 687,50 gramos

La norma establece que cada mezcla debe contener la cantidad de agua necesaria para alcanzar un flujo de 100 a 115 por ciento en la tabla de flujo. Los datos que se obtuvieron son:

Tabla XIII. **Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%**

Tipo de mezcla	Relación agua/cemento
Patrón	0,55
Mezcla I	0,89
Mezcla II	0,87

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Con base a los requerimientos de agua, se procedió a evaluar la resistencia a compresión de cada mezcla.

Tabla XIV. **Resistencia a compresión a 28 días Kg/cm²**

Mezcla	28 días
Patrón	196,59
Mezcla I	108,50
Mezcla II	91,10

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Al obtener los resultados se puede observar que la mezcla de ensayo tipo I, alcanza la resistencia a compresión más cercana a la resistencia que presenta la mezcla patrón, con lo cual se establece el índice de actividad puzolánica con la siguiente ecuación:

$$\text{IAP (\%)} = \frac{\text{Resistencia a compresión de la mezcla de ensayo}}{\text{Resistencia a compresión de la mezcla patrón}} * 100$$

Tabla XV. **Índice de actividad puzolánica con respecto al cemento**

Mezcla	28 días (%)	Norma ASTM C 618
		28 días (%)
Mezcla I	59,19	75
Mezcla II	46,34	75

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 11. **Resistencia a compresión, mezcla de cemento mas puzolana y arena estándar**

a. Elaboración de cubos de mortero



b. Resistencia a compresión 28 días



Fuente: Laboratorio de Morteros CII/USAC, septiembre 2012.

3.3.5.2. Índice de actividad puzolánica respecto a la cal

La reactividad presentada por una puzolana con respecto a la cal hidratada, se expresa como el promedio de su resistencia a la compresión presentada a los 28 días.

Para determinar el índice de actividad puzolánica respecto a la cal se especifica utilizar una mezcla conformada por cal hidratada mezclada con puzolana. Las proporciones utilizadas fueron:

Proporciones:

Mezcla de ensayo	
Cal hidratada	80,00 gramos
Puzolana	132,80 gramos
Arena Ottawa	720,00 gramos

Relación a/c:

Mezcla de ensayo a/c: 2,31

Tabla XVI. Índice de actividad puzolánica respecto a la cal

Mezcla	28 días (%)	Norma ASTM C 618
		28 días (%)
Mezcla de ensayo	40,10	56,24

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 12. **Resistencia a compresión, mezcla de cal más puzolana y arena estándar**

a. Elaboración de cubos de cal y puzolana



b. Resistencia a compresión 28 días



Fuente: Laboratorio de Morteros CII/USAC.

3.3.6. **Contenido de aire en el mortero**

El contenido de aire es el volumen de vacíos en la mezcla de concreto, excluyendo el espacio de los poros en las partículas del agregado. Este se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla de concreto.

3.3.7. **Requerimiento de agua**

Las mezclas de concreto que contienen puzolanas requieren normalmente menos agua (cerca de 1% a 10% menos agua para dosificaciones normales de puzolana) que una mezcla que contenga sólo cemento, para un mismo revenimiento del cono de Abrams. Sin embargo, existen puzolanas que pueden aumentar la demanda de agua, dependiendo de su proporción o cantidad.

Puzolanas como las arcillas calcinadas y los esquistos calcinados, generalmente tienen poco efecto sobre la demanda de agua, mientras que las puzolanas naturales pueden aumentar o disminuir considerablemente la necesidad de agua. Los requerimientos de agua presentados por las mezclas de ensayo son las siguientes:

Proporción I:

Cemento: 65% + puzolana (CPA): 35% + arena estándar: 100%

Tabla XVII. **Requerimiento de agua para mezcla con proporción I**

Mezcla	Requerimiento de agua
Cemento Portland + puzolana	101,82
Cemento UGC + puzolana	100,45

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Proporción II:

Cemento: 100% + puzolana (CPA): 9,10% + Arena estándar: 91,90%

Tabla XVIII. **Requerimiento de agua para mezcla con proporción II**

Mezcla	Requerimiento de agua
Cemento Portland + puzolana	98,68
Cemento UGC + puzolana	99,15

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

3.3.8. Resultados

En la tabla XIX se presenta el resumen de los resultados obtenidos de los ensayos físicos especificados por la Norma COGUANOR 41 044:87 para la caracterización de una ceniza como puzolana artificial.

Tabla XIX. **Resumen de resultados de los ensayos físicos que debe poseer la ceniza de palma africana para su adición al cemento**

Parámetro	Ceniza Volante	Cemento Portland Mezcla I	Cemento UGC Mezcla II	Cal Hidratada Mezcla III	Especificaciones ASTM C-618		
					Clase N	Clase F	Clase C
Densidad relativa (g/cm ³)	1,87	3,02	2,91	2,25	-----	-----	-----
Finura por Tamiz No. 325 (% máx.)	33,85	-----	-----	-----	34	34	34
Requisitos de Agua (%max)	----	101,82	100,45	-----	115	105	105
Índice de actividad puzolánica respecto al cemento (% min.)	-----	55,19	46,34	-----	75	75	75
Índice de actividad puzolánica respecto al cal (psi)	-----	-----	-----	570,42	800	800	-----
Aumento de la contracción o encogimiento por desecación	-----	0,002	0,004	-----	0,03	0,03	0,03

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Diseño de morteros

El diseño de las mezclas de mortero comprende una serie de ensayos, para determinar las dosificaciones adecuadas para alcanzar resistencias semejantes a las presentadas por mezclas compuestas de cemento Portland y arena (mezcla patrón).

Con base en la cantidad máxima de portlandita que puede ser liberada durante la reacción de hidratación entre el cemento Portland y el agua, se realizaron mezclas sustituyendo un 35 por ciento del volumen absoluto del cemento utilizado en la mezcla de control para comparar las reactividades de las diferentes mezclas.

Para la fabricación de los morteros se emplean los procedimientos establecidos en la Norma COGUANOR 41 002: mezclas mecánica de pastas y morteros de consistencia plástica. Esta norma tiene como principal objetivo establecer los procedimientos para obtener mezclas de ensayo homogéneas.

Con los resultados de la resistencia mecánica a compresión evaluados en el capítulo anterior se establecen las siguientes proporciones:

- Proporciones

- Mezcla patrón

- Cemento Portland 750,00 gramos

- Arena Ottawa 2 062,50 gramos

- Mezcla ensayo I

- Cemento Portland 487,50 gramos

- Puzolana 162,54 gramos

- Arena Ottawa 2 062,50 gramos

- Mezcla ensayo II

- Cemento UCG 487,50 gramos

- Puzolana 168,69 gramos

- Arena Ottawa 2 062,50 gramos

- Trabajabilidad

La cantidad de agua medida en mililitros suficiente para producir un flujo de 100 a 115 por ciento en la tabla de flujo, según Norma COGUANOR 41 003 h4.

- Mezclado

La ceniza de palma africana y el cemento deben ser bien mezclados en un recipiente para lograr un material homogéneo. El procedimiento para el moldeo y el almacenamiento de los especímenes se describe en la Norma COGUANOR 41 003 h4.

4.1.1. Requerimiento de agua

Para la evaluación de los morteros cada mezcla debe contener la cantidad de agua necesaria para alcanzar un flujo de 100 a 115 por ciento, en la tabla de flujo. Los datos obtenidos son:

Tabla XX. **Requerimiento de agua con un flujo entre 100% a 115%**

Tipo de mezcla	Relación agua/cemento
Patrón	0,53
Mezcla I	0,86
Mezcla II	0,84

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

4.1.2. Resistencia a compresión

La resistencia a compresión de las mezclas cementos adicionados con puzolana pueden ser mayor o menor que la resistencia a compresión de mezclas que contengan sólo cemento, dependiendo del porcentaje de puzolana agregada a la mezcla. La tabla XXI presenta los resultados de mezclas adicionadas con un 35 por ciento de ceniza de palma africana como puzolana artificial.

Tabla XXI. Resistencia a compresión kg/cm²

Tipo de Mezcla	Proporción	3 día	7 día	28 día
		kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²
Patrón	1 : 2,75 : 0,53	125,56	209,09	291,26
Mezcla I	1 : 4,23 : 0,86 + 0,35 puzolana	104,35	129,93	182,63
Mezcla II	1 : 4,23 : 0,84 + 0,35 puzolana	17,65	38,98	93,69

Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Al obtener los resultados se puede observar que la mezcla de ensayo tipo I (cemento Portland + puzolana) presenta una resistencia a compresión mayor que la presentada por la mezcla de ensayo tipo II (cemento UGC + puzolana), aunque ambos tipos de cementos están clasificados dentro de las mismas Normas ASTM C 1157 y COGUANOR NGO 41001, son dos clases diferentes en cuanto a su composición química.

El cemento Portland utilizado, al igual cemento UGC son cementos hidráulicos adicionados con puzolana natural, sin embargo, ambos cementos poseen características distintas de fineza, tiempo de fraguado e incluso el color varía entre los dos tipos, dependiendo de la materia prima empleada en su fabricación.

Otros estudios muestran que existen mezclas de cemento adicionadas con puzolanas que requieren períodos más largos de curado húmedo, que los normales, para obtener una reacción puzolánica adecuada.

4.1.3. Índice de actividad puzolánica

La tabla XXII muestra los resultados del índice de actividad puzolánica que presentan las mezclas de cemento con adición de puzolana, el cual es el valor que representa la capacidad de la puzolana para reaccionar con el hidróxido de calcio de los dos tipos de cementos utilizados. Los resultados obtenidos son:

Tabla XXII. Índice de actividad puzolánica de las mezclas de ensayo

Mezcla de ensayo	3 día	7 día	28 día	Norma ASTM C-618	
	(%)	(%)	(%)	7 día	28 día
Mezcla I	83,12	62,15	62,72	75	75
Mezcla II	14,06	18,65	32,17		

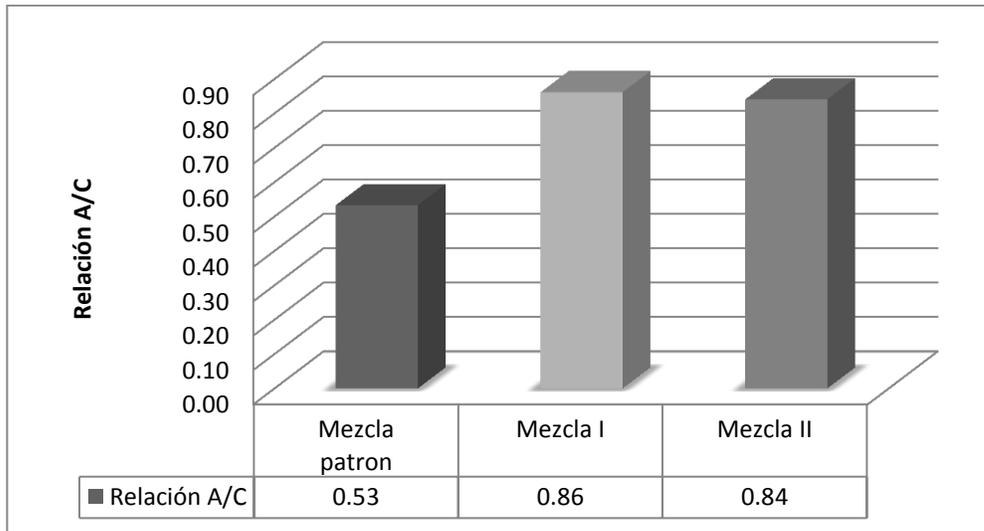
Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Como puede observarse en la tabla XXII, la mezcla I desarrolla mayor índice de actividad puzolánica, un 62,72 por ciento, pero la Norma ASTM C-618 especifica que las mezclas de ensayo deben presentar un índice de actividad puzolánica mínimo de 75 por ciento para lograr ser clasificada como una ceniza volante. Sin embargo, se podría aumentar su reacción puzolánica al disminuir la cantidad de cemento reemplazando por puzolana artificial.

4.1.4. Gráficas de resultados de los ensayos realizados

La figura 13 muestra los valores obtenidos de la relación agua/cemento de las mezclas de ensayo. Este parámetro es un factor importante en el diseño de mezclas de concreto debido a su influencia sobre la resistencia, durabilidad y la retracción del concreto.

Figura 13. Relación agua / cemento (a/c)

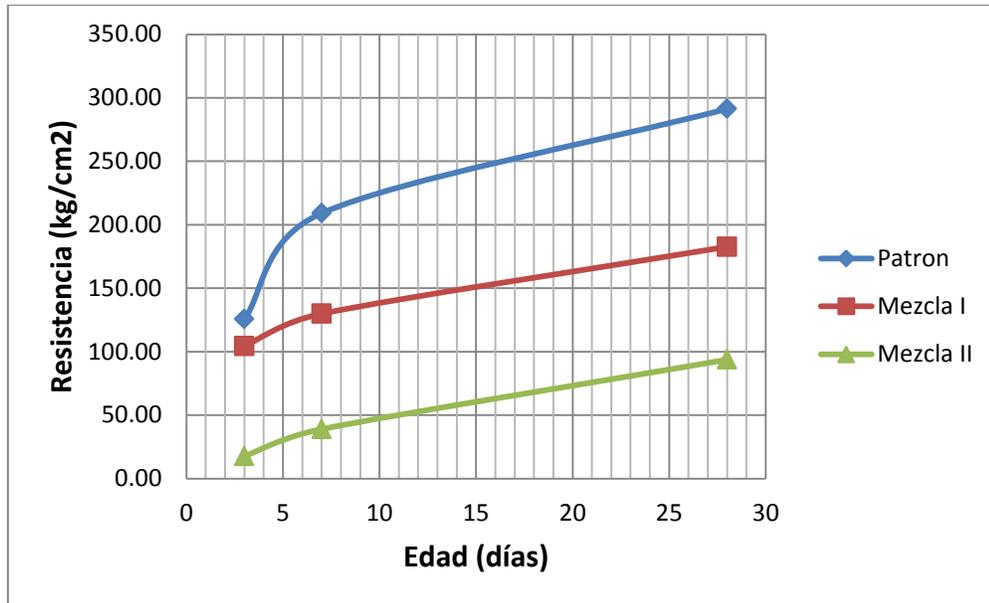


Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Los resultados obtenidos muestran que para obtener una misma fluidez, en las mezclas adicionadas con puzolana, es necesario un aumento en su consumo de agua debido al área superficial que presenta la puzolana, así como de su porosidad.

Las pruebas de resistencia a la compresión se usan principalmente para determinar el desempeño mecánico de una mezcla y así determinar su posible uso en la construcción. La figura 14 muestra la resistencia a compresión que presentan las mezclas de ensayo durante su período de fraguado.

Figura 14. Resistencia a compresión kg/cm^2

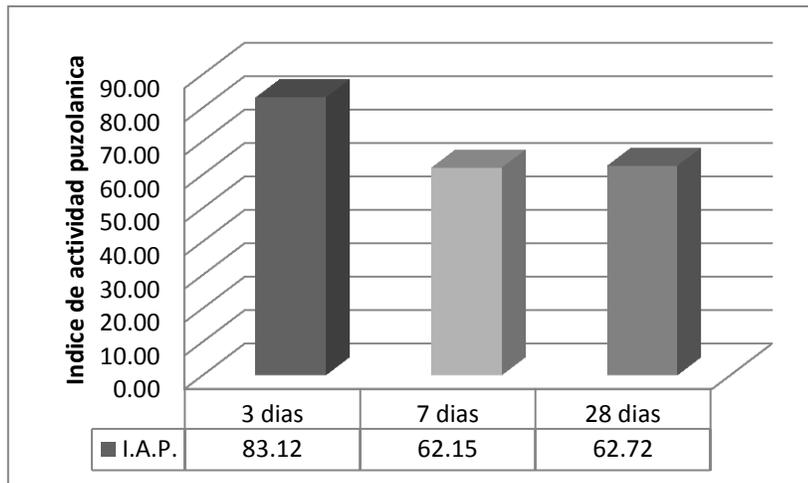


Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Como se observa, las mezclas de ensayo I y II solamente alcanzaron el 62 y el 32 por ciento de la resistencia lograda por la mezcla patrón, respectivamente. Esto debido al alto porcentaje de cemento sustituido por puzolana artificial, ya que, como muestran los resultados químicos obtenidos, la puzolana presenta un déficit de propiedades químicas esenciales para alcanzar una buena reacción puzolánica.

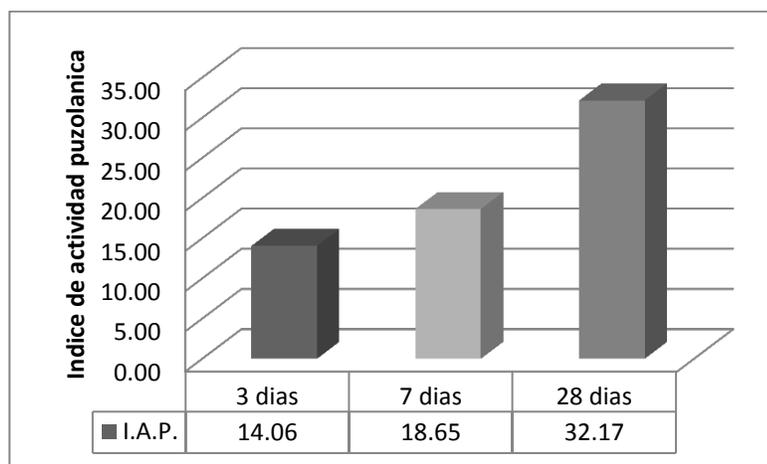
En las figuras 15 y 16 se muestran los índices de actividad puzolánica de las mezclas adicionadas con puzolana artificial con respecto a la mezcla patrón. Sin embargo, se observa que con una sustitución del 35 por ciento del cemento por puzolana, la reacción puzolánica de las mezclas no alcanza los límites mínimos establecidos en la Norma ASTM C-618.

Figura 15. **Índice de actividad puzolánica (%) mezcla de ensayo I**



Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Figura 16. **Índice de actividad puzolánica (%) mezcla de ensayo II**



Fuente: elaboración propia, según resultados de análisis.

Como se observa la mezcla realizada con cemento Portland adicionada con puzolana, presenta una disminución en su índice de actividad puzolánica, lo cual es indicio de un porcentaje pequeño de resistencia a la compresión. Aunque la mezcla de cemento UGC adicionada con puzolana presenta un aumento de su índice de actividad puzolánica, sus valores son inferiores a los alcanzados por la mezcla de ensayo tipo I.

El cemento UGC es un cemento Portland que posee adición de puzolana natural, por lo tanto al ser utilizado en mezclas adicionadas con puzolana artificial se aumenta el porcentaje de cemento Portland remplazado por puzolana, provocando una menor actividad puzolánica. La poca reacción puzolánica que presenta la mezcla de ensayo tipo II puede ser provocada debido al bajo grado de reacción de las diferentes puzolanas combinadas.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Materiales

El conocimiento de las propiedades de los materiales implementados en la mezcla de concreto, permiten determinar el proporcionamiento adecuado para garantizar el desarrollo de las características de resistencia y durabilidad especificadas. Estas características reflejan las necesidades propias de cada estructura. Además la mayoría de las propiedades deseadas en un concreto endurecido dependen principalmente de la calidad de la pasta de cemento.

Para la determinación de las características de las mezclas adicionadas puzolana se utilizaron los siguientes materiales:

- Cemento Portland

Es un cemento adicionado con puzolana natural que cumple con los requisitos de las Normas ASTM C1157 y COGUANOR NGO 41001 para cementos hidráulicos. Este cemento proporciona una resistencia mínima de 5 800 libras por pulgada cuadrada a los 28 días y sus características principales son:

- Alta resistencia
- Fraguado rápido
- Resistencias altas a edades tempranas
- Resistencias tempranas y finales mayores
- Cemento UGC

Es un cemento con adición de puzolana natural que presenta una resistencia de 4000 psi a los 28 días y cumple con las Normas ASTM C1157 y COGUANOR NGO 41001. Debido a las características que posee es catalogado como cemento para uso general en la construcción. La puzolana adicionada contribuye a que el cemento UGC tenga los siguientes beneficios:

- Aumenta la resistencia del concreto a lo largo del tiempo
 - Aumenta la resistencia al ataque de los sulfatos
 - Minimiza el agrietamiento del concreto
 - Mejora su trabajabilidad
- Cal hidratada

Este material debe cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C-207 Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes y la Norma ASTM C-821 *Estándar* Specification for Lime for Use with Pozzolans para que pueda desarrollarse el proceso de reacción puzolánica.

- Arena graduada estándar

La arena de grado estándar cumple con los requisitos establecidos en la Norma ASTM C-778-06 Standard Specification for Standard Sand. Esta norma indica tres tipos de tamaño o graduación de arena, sin embargo, se utilizó la arena 20-30 para los ensayos de resistencia a compresión que se realizaron.

5.2. Ceniza volante (Normas ASTM C-311, C-618)

Con los resultados obtenidos de los ensayos químicos y físicos, se procede a verificar la actividad puzolánica que desarrolla la ceniza volante (ceniza de palma africana) mezclada con cemento Portland y cemento UGC.

5.1.1. Ensayos físicos mecánicos

Estos ensayos se utilizan para caracterizar algunas de las propiedades de los materiales utilizados, así como las características que poseen al ser combinados. Debido a que, dependiendo del tipo de cemento empleado así será la limitación de sus propiedades.

Los ensayos físicos brindan el conocimiento de las propiedades específicas de cada material empleado, a fin de lograr la correcta interpretación de los resultados de los ensayos a las mezclas de cemento. Sin embargo son los ensayos mecánicos los utilizados para medir la capacidad de los materiales de soportar esfuerzos de diferente tipo. Los parámetros físicos y mecánicos evaluados son:

- **Fineza:** el resultado obtenido se encuentra dentro de las especificaciones para cenizas volantes indicadas en la norma.
- **Índice de actividad puzolánica con respecto al cemento:** el resultado obtenido de la mezcla de ensayo I (cemento Portland + ceniza volante), presenta una reducción de su actividad puzolánica, mientras que la mezcla de ensayo II (cemento UGC + ceniza volante) muestra un aumento de su actividad puzolánica con respecto a su tiempo de curado, sin

embargo, ambas se encuentran fuera de las especificaciones para cenizas volantes indicadas en la norma.

- Aumento de la contracción por secado de barras de mortero: el resultado obtenido se encuentra por dentro del porcentaje máximo permisible especificado para el uso como puzolana.
- Requerimiento de agua: los resultados obtenidos de las diferentes mezclas evaluadas presentan resultados dentro de los rangos indicados en la norma.
- Densidad relativa: este parámetro no se encuentra especificado en la norma, solamente es un indicativo de la variabilidad que puede existir entre los resultados obtenidos en el laboratorio.
- Resistencia a la compresión: los resultados obtenidos en las tres edades se encuentran fuera de las especificaciones para cementos mezclados con ceniza. La tendencia observada en la mezcla adicionadas con el 65 y 35 por ciento es ganar resistencia conforme la edad aumenta, sin embargo, los valores de la mezcla patrón son mayores que las mezclas de ensayo I y II, en todas las edades ensayadas.

5.1.2. Ensayos químicos

Estos ensayos se utilizan para determinar la composición química que presenta la puzolana artificial, además de su posible reacción al ser combinada con los diferentes materiales utilizados en las mezclas. Esto permite hacer una comparación con los materiales empleados y la detectar cualquier variación

respecto a los parámetros especificados, según normas, que debe presentar una puzolana artificial para ser catalogada como tal.

Los resultados de la caracterización química de la muestra evaluada como puzolana artificial presentan un rango bien definido de valores. En general se observa un contenido bajo de Al_2O_3 y Fe_2O_3 , por tanto la suma de estos compuestos representa menos del 70 por ciento de la muestra, requisito establecido por la Norma ASTM C-618 para su uso como puzolana artificial. Además se observan las siguientes irregularidades.

- La ceniza presenta niveles inferiores en sus componentes químicos como lo son el óxido de calcio, aluminio, magnesio y hierro, lo cual influye en su comportamiento mecánico.
- El resultado de la pérdida por ignición es 38 por ciento más del máximo permisible, lo evidencia un contenido de carbón residual inadecuado para su implementación como puzolana artificial.

CONCLUSIONES

1. La ceniza de palma africana no cumple con los parámetros establecidos por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales descritas en la Norma ASTM C-618 para ser catalogada como una puzolana artificial, por lo que se sugiere evaluarla como sustituto de cemento en construcciones no estructurales.
2. La resistencia de las mezclas con adición de ceniza de palma africana es similar a la obtenida con la mezcla de control durante los primeros 3 días, sin embargo, presenta una pérdida de resistencia durante las siguientes edades ensayadas.
3. El color de la ceniza al ser recolectada, evidencia una gran cantidad de residuos no incinerados, que generalmente son productos orgánicos que limitan la reacción puzolánica del material.
4. La reacción puzolana – cal, requerida por la Norma ASTM C-593, no tuvo resultados satisfactorios, ya que solo se alcanzó un 71 por ciento de la resistencia necesaria para su aprobación.
5. Las mezclas elaboradas con cemento Portland y puzolana artificial presentan una mayor resistencia que las elaboradas con cemento UGC con adición de puzolana, debido a las características mecánicas propias del cemento Portland.

6. La ceniza de palma africana presenta poco contenido de óxido de aluminio y óxido de magnesio, necesarios para una buena reacción puzolánica con el cemento.
7. Es posible alcanzar resistencias a compresión más altas con las mezcla de cemento Portland adicionadas con puzolana, controlando la adición de puzolana a pequeñas cantidades.
8. Al realizar mezclas con ceniza volantes como puzolana, es necesario que los materiales se mezclen de forma homogénea para obtener mejores resultados.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que la industria productora de cemento realicen investigaciones que permitan establecer la potencialidad de combinar cenizas de distintos materiales con características puzolánica, para establecer su posible uso para la elaboración de cementos mezclados hidráulicamente.
2. La producción de cementos adicionados con puzolana deben regirse a las especificaciones descritas en las normas vigentes establecidas por el Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala (ICCG), a fin de obtener la mejor calidad posible.
3. Para futuras investigaciones diseñar morteros con diversas proporciones de ceniza y otros tipos de cementos, para determinar la reacción puzolánica que desarrollan.
4. El territorio nacional cuenta con diversos depósitos de materiales puzolánicos que deben de ser analizados para evaluar la actividad puzolánica que poseen y determinar la utilización de los mismos.
5. Evaluar la ceniza de fibra y cuesco de palma africana como sustituto de la arena, de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el país.

6. Para evitar que la muestra posea cantidades de residuos orgánicos no incinerados, se recomienda una calcinación a temperaturas de 600 Celsius como se utiliza para la cascarilla de arroz.

7. Estudios recientes desarrollados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) han demostrado que la cáscara de arroz normalmente contiene un 90 por ciento de sílice, lo cual, lo convierte en un excelente material para combinar con la ceniza de palma africana y analizar su actividad puzolánica con el cemento.

8. Las mezclas realizadas con cal y adición de puzolana pueden utilizarse para la construcción de viviendas de bajo costo o pequeñas obras de construcción, en las cuales, no es necesario obtener resistencias muy altas.

BIBLIOGRAFÍA

1. GODOY FERNÁNDEZ, Oscar Rodrigo. *Desarrollo y aplicaciones de los cementos mezclados hidráulicos*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 156 p.
2. GÓMEZ GONZÁLEZ, Antonio. *Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos. Aplicación en viviendas de bajo coste*. Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2009. 137 p.
3. KOSMATKA, Steven H.; WILLIAM C. Panarese. *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México 1992. 449 p.
4. MARTINEZ ROSALES, Edgar Jacob. *Evaluación de la ceniza volante producida por la combustión de carbón, en la planta generadora San José power station para utilizarse como puzolana artificial*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 70 p.
5. REYES ORTÍZ, Sandra Patricia. *Aprovechamiento de los residuos de palma africana*. Universidad Cooperativa de Colombia. 8 p.

6. ROBALINO ESPINOZA, Paola. *El uso de la zeolita como una adición mineral para producir cemento puzolánico*. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en ciencias de la tierra. Ecuador. 2009. 10 p.
7. SALAZAR, Alejandro. *Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos*, 3a ed. Corporación Construir. Cali, 2002. 9 p.
8. SOLANO, Luis. *El mercado de los Agrocombustibles: Destino de la producción de caña de azúcar y palma africana de Guatemala*. Hurtado, Laura (coor.). Ciudad de Guatemala, 2010. 74 p.
9. SOLARES MALDONADO, Carlos Alberto. *Plan de negocios para un proyecto de cultivo de palma africana en el departamento de peten*. Trabajo de graduación de Administración de Empresas con Especialización en Finanzas. Universidad Francisco Marroquín. Facultad de Ciencias Económicas. Guatemala, 2003. 50 p.
10. SOLÓRZANO JIMÉNEZ, Edgar Francisco. *Caracterización de la escoria de hornos de la planta SIDEGUA como puzolana artificial*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 81 p.

ANEXOS



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



Nº 17339

O.T. No. 29519

QUIND-LAFIQ No. Informe Lab. 11-12

Interesado: Gimy Anthony Iqulque Siney
Muestra: 1 Muestra de Ceniza de Palma Africana
Fecha: 12 de marzo del 2012

a) Caracterización Físicoquímica de Cenizas. Según Norma ASTM C-114.

Determinación	Porcentaje (%)
Óxido de Hierro (Fe_2O_3)	10.33 ± 1.75
Óxido de Aluminio (Al_2O_3)	No detectable
Óxido de Calcio (CaO)	2.93 ± 1.03
Óxido de Magnesio (MgO)	5.01 ± 0.30
Residuo Insoluble	37.60 ± 1.56
Pérdida por Ignición	25.95 ± 0.07
Humedad	6.167 ± 0.137

*: Muestra proporcionada por el interesado

MSc. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
Coordinadora LAFIQ/QI

Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe de Sección Química Industrial -CII-

Vo.Bo. Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería CII/USAC





**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-109**

INFORME No. S.C. - 361

O.T. No. **29517**

HOJA 1/3

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC"
FECHA: 20 de mayo de mayo de 2,013

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE HECHURA	EDAD en días	Peso [g]	Área [cm ²]	Carga [kg]	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	08/03/2013	3	274.50	25.500	2,900	113.73	1617.54
2	08/03/2013	3	275.50	25.755	3,480	135.12	1921.83
3	08/03/2013	3	273.20	25.500	3,260	127.84	1818.34
4	08/03/2013	7	281.50	25.498	5,240	205.51	2923.00
5	08/03/2013	7	283.10	25.853	4,880	188.76	2684.76
6	08/03/2013	7	281.80	25.493	5,940	233.01	3314.14
7	08/03/2013	28	283.60	26.061	7,260	278.58	3962.26
8	08/03/2013	28	284.90	26.112	7,560	289.52	4117.91
9	08/03/2013	28	285.75	26.368	8,060	305.67	4347.66

OBSERVACIONES:

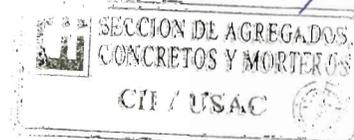
- La mezcla corresponde a: **Cemento Portland + arena Ottawa + agua.**
- Muestras ensayadas en maquina universal BALDWIN LIMA HAMILTON con capacidad de 60,000 kg.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 12,000 kg.
- Proporción de diseño de mezcla: **1 : 2.75 : 0.53**

ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concreto y Morteros



EMG



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-109**

INFORME No. S.C. - 361

O.T. No. **29517**

HOJA 2/3

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC"
FECHA: 20 de mayo de mayo de 2,013

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE HECHURA	EDAD en días	Peso [g]	Área [cm ²]	Carga [kg]	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	08/03/2013	3	256.30	24.500	2,420	98.78	1404.90
2	08/03/2013	3	257.70	24.647	2,680	108.74	1546.56
3	08/03/2013	3	256.90	24.255	2,560	105.55	1501.19
4	08/03/2013	7	281.00	25.398	3,220	126.78	1803.24
5	08/03/2013	7	281.40	25.245	3,340	132.30	1881.78
6	08/03/2013	7	280.00	25.250	3,300	130.69	1858.87
7	08/03/2013	28	279.30	26.008	4,720	181.49	2581.31
8	08/03/2013	28	281.80	26.008	4,400	169.18	2406.31
9	08/03/2013	28	281.20	26.061	5,140	197.23	2805.24

OBSERVACIONES:

- La mezcla corresponde a: **Cemento Portland + arena Ottawa + agua + % ceniza.**
- Muestras ensayadas en maquina universal BALDWIN LIMA HAMILTON con capacidad de 60,000 kg.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 12,000 kg.
- Proporción de diseño de mezcla: **1 : 4.23 : 0.86 + 0.33 puzolana**

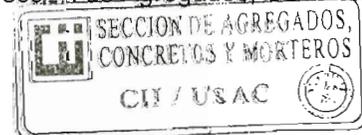
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concreto y Morteros



EMG



**RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MORTEROS
NORMA ASTM C-109**

INFORME No. S.C. - 361

O.T. No. **29517**

HOJA 3/3

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975
PROYECTO: Trabajo de Graduación " Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC"
FECHA: 20 de mayo de mayo de 2,013

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

No. CUBO	FECHA DE HECHURA	EDAD en días	Peso [g]	Área [cm ²]	Carga [kg]	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
1	08/03/2013	3	265.30	25.500	480	18.82	267.73
2	08/03/2013	3	269.00	25.500	430	16.86	239.84
3	08/03/2013	3	266.30	25.500	440	17.25	245.42
4	08/03/2013	7	278.60	26.265	840	31.98	454.88
5	08/03/2013	7	275.00	26.010	1,160	44.60	634.33
6	08/03/2013	7	282.40	26.008	1,050	40.37	574.23
7	08/03/2013	28	283.90	26.523	2,300	86.72	1233.42
8	08/03/2013	28	276.15	26.008	2,420	93.05	1323.47
9	08/03/2013	28	274.95	26.061	2,640	101.30	1440.82

OBSERVACIONES:

- La mezcla corresponde a: **Cemento UGC + arena Ottawa + agua + % ceniza.**
- Muestras ensayadas en maquina universal BALDWIN LIMA HAMILTON con capacidad de 60,000 kg.
- Dial utilizado para lectura de cargas: 12,000 kg.
- Proporción de diseño de mezcla: **1 : 4.23 : 0.84 + 0.35 puzolana**

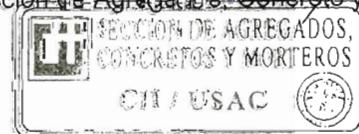
ATENTAMENTE,

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



Inga. Dimma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



EMG



INFORME DE AUMENTO DE CONTRACCIÓN POR BARRAS DE MORTEROS

No. 0069

NORMA ASTM C-311 Y C-157

O.T. No. 29514

S.C. No. - 276

HOJA 1/2

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006 14975.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio de las Características Físicas, Químicas y Mecánicas de la Ceniza de Palma Africana como Aditivo para Mejorar las Propiedades del Cemento UGC".

DIRECCIÓN: Ciudad.

FECHA: 16 de mayo de 2014.

Resultados:

MEZCLA	Cemento Portland + Arena Ottawa + Agua			
	Proporción: 1 : 2.75 : 0.52			
BARRA MEZCLA PATRÓN	LECTURAS RELATIVAS			% DE CONTRACCIÓN
	Lectura de Comparación	Longitud (mm)		
		7 Días	28 Días	
1	1.914	1.912	1.924	-0.005
2	3.012	3.008	3.032	-0.010
3	4.930	4.924	4.950	-0.010
		Promedio		-0.008

MEZCLA 1	Cemento Portland + Arena Ottawa + Agua + Puzolana			
	Proporción: 1 : 2.50 : 0.58 + 0.25 Puzolana			
BARRA MEZCLA + PUZOLANA	LECTURAS RELATIVAS			% DE CONTRACCIÓN
	Lectura de Comparación	Longitud (mm)		
		7 Días	28 Días	
1	4.008	4.014	4.032	-0.007
2	1.020	1.026	1.042	-0.006
3	4.000	4.004	4.020	-0.006
		Promedio		-0.007



No. **0070**

HOJA 2/2

MEZCLA 2	Cemento UGC + Arena Ottawa + Agua + Puzolana			
	Proporción: 1 : 2.50 : 0.58 + 0.25 Puzolana			
BARRA MEZCLA + PUZOLANA	LECTURAS RELATIVAS			% DE CONTRACCIÓN
	Lectura de Comparación	Longitud (mm)		
		7 Días	28 Días	
1	5.120	5.130	5.146	-0.006
2	4.050	4.060	4.064	-0.002
3	4.038	4.048	4.058	-0.004
		Promedio		-0.004

AUMENTO A LA CONTRACCIÓN O ENCOGIMIENTO POR SECADO DE LAS BARRAS DE MORTERO		
MEZCLA	% DE CONTRACCIÓN	NORMA ASTM C-618
Mezcla 1	0.002	0.03
Mezcla 2	0.004	0.03

Observaciones:

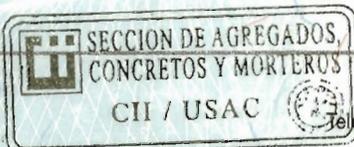
- a) Materiales proporcionado por el interesado.
- b) Fecha de elaboración de barras de morteros: 24/04/12.
- c) fecha de lectura de comparación: 25/04/12
- d) Fecha de ensayo a los 7 días: 01/05/12
- e) Fecha de ensayo a los 28 días: 22/05/12

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yaret Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



c.v.



INFORME DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA
NORMA ASTM C-188

No. 0071

O.T. No. 29514

S.C. No. - 284

HOJA 1/1

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006 14975.
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio de las Características Físicas, Químicas y Mecánicas de la Ceniza de Palma Africana como Aditivo para Mejorar las Propiedades del Cemento UGC".
DIRECCIÓN: Ciudad.
FECHA: 16 de mayo de 2014.

Resultados:

MUESTRA	GRAVEDAD ESPECIFICA (g/cm ³)
Ceniza de palma africana	1.87
Cemento UGC	2.91
Cemento Portland	3.02
Cal Hidratada	2.25

Observaciones:

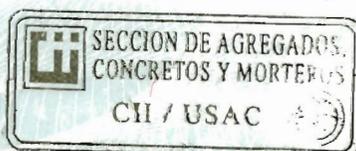
- Muestra de material proporcionado por el interesado.
- Fecha de ensayo Ceniza de Palma Africana y Cemento UGC: 16/05/2012
- Fecha de ensayo Cemento Portland: 24/05/12
- Fecha de ensayo Cal Hidratada: 28/06/12

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



cv.



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



INFORME DETERMINACIÓN DE LA FINURA RETENIDO TAMIZ No.325 (45 μ m)

No. 0073

O.T. No. 29514

NORMA ASTM C-311

S.C. No. - 285

HOJA 1/1

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006 14975.
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Estudio de las Características Físicas, Químicas y Mecánicas de la Ceniza de Palma Africana como Aditivo para Mejorar las Propiedades del Cemento UGC".
DIRECCIÓN: Ciudad.
FECHA: 16 de mayo de 2014.

Resultados:

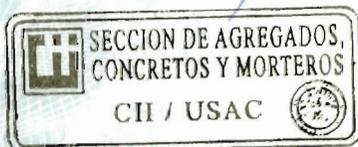
MUESTRA	% FINURA	ESPECIFICACIONES DE LA NORMA ASTM C-618
Ceniza de palma africana	33.83	34%

Observaciones:

- a) Materiales proporcionado por el interesado.
- b) Fecha de ensayo: 23/04/2012

ATENTAMENTE,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC

cv.



RESISTENCIA EN MORTEROS

No. **0429**

NORMA ASTM C-109

O.T. No. **30558**

INFORME No. S.C. - 591

INTERESADO:
PROYECTO:

Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975
Trabajo de graduación "Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC."

DIRECCIÓN:
FECHA:

Ciudad
7 de agosto de 2014

Resultados:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en días	AREA en cm ²	CARGA en Kg.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
P1	24/07/2012	28	25,000	4 450	178,00	2531,73
P2	24/07/2012	28	25,500	5 100	200,00	2844,64
P3	24/07/2012	28	25,500	5 400	211,76	3011,97

Observaciones :

- Muestras elaboradas por el interesado.
- Muestras ensayadas en maquina Universal Baldwin Lima Hamilton capacidad de 60 000 kg.
- Escala para lectura de cargas: 12 000 kg.
- Cubos representativos de: Mortero patron.

Atentamente,

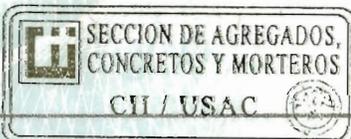

Inga. Dilma Yanet Mejicanos, Jol
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



E.R.





RESISTENCIA EN MORTEROS

No. **0430**

NORMA ASTM C-109

O.T. No. **30558**

INFORME No. S.C. - 592

INTERESADO:

Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975

PROYECTO:

Trabajo de graduación "Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC."

DIRECCIÓN

Ciudad

FECHA:

7 de agosto de 2014

Resultados:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en días	AREA en cm ²	CARGA en Kg.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
M1	24/07/2012	28	25,500	2 600	101,96	1450,21
M2	24/07/2012	28	25,500	2 900	113,73	1617,54
M3	24/07/2012	28	25,500	2 800	109,80	1561,76

Observaciones :

- a) Muestras elaboradas por el interesado.
- b) Muestras ensayadas en maquina Universal Baldwin Lima Hamilton capacidad de 60 000 kg.
- c) Escala para lectura de cargas: 12 000 kg.
- d) Cubos representativos de: Mortero de mezcla ensayo 1.

Atentamente,


 Inga. Dilma Yanez Mejicanos Jol
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


 Inga. Teima Maricela Cano Morales
 Directora CI/USAC



E.R.





RESISTENCIA EN MORTEROS

No. **0431**

NORMA ASTM C-109

INFORME No. S.C. - 593

O.T. No. **30558**

INTERESADO:

Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975

PROYECTO:

Trabajo de graduación "Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC."

DIRECCIÓN

Ciudad

FECHA:

7 de agosto de 2014

Resultados:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en días	AREA en cm ²	CARGA en Kg.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
M1	24/07/2012	28	25,500	2 300	90,20	1282,88
M2	24/07/2012	28	25,000	2 300	92,00	1308,53
M3	24/07/2012	28	26,010	1 800	69,20	984,30

Observaciones :

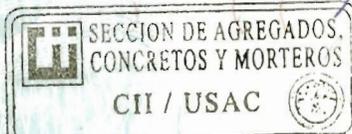
- Muestras elaboradas por el interesado.
- Muestras ensayadas en maquina Universal Baldwin Lima Hamilton capacidad de 60 000 kg.
- Escala para lectura de cargas: 12 000 kg.
- Cubos representativos de: Mortero de mezcla ensayo 2.

Atentamente,

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.

Inga. Telma Marcela Cano Morales
Directora CII/USAC



E.R.



RESISTENCIA EN MORTEROS

No. **0432**

NORMA ASTM C-109

O.T. No. **30558**

INFORME No. S.C. - 594

INTERESADO: Gimy Anthony Iquique Siney Carné No. 2006-14975
PROYECTO: Trabajo de graduación "Estudio de las características físicas, químicas y mecánicas de la ceniza de palma africana como aditivo para mejorar las propiedades del cemento UGC."
DIRECCIÓN: Ciudad
FECHA: 7 de agosto de 2014

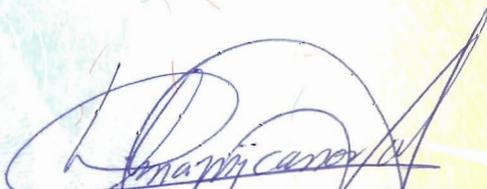
Resultados:

No. CUBO	FECHA DE FUNDICION	EDAD en días	AREA en cm ²	CARGA en Kg.	RESISTENCIA kg/cm ²	RESISTENCIA lb/plg ²
A	24/07/2012	28	25,500	975	38,24	543,83
B	24/07/2012	28	25,000	980	39,20	557,55
C	24/07/2012	28	25,500	1 050	41,18	585,66

Observaciones :

- a) Muestras elaboradas por el interesado.
- b) Muestras ensayadas en maquina Uníversal Baldwin Lima Hamilton capacidad de 60 000 kg.
- c) Escala para lectura de cargas: 12 000 kg.
- d) Cubos representativos de: mortero de actividad puzolanica respecto a la cai.

Atentamente,


 Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
 Jefa Sección Agregados, Concretos y Morteros

Vo.Bo.


 Inga. Telma Maricela Cano Morales
 Directora CII/USAC



E.R.

