



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

**IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN  
OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN**

**Carlos Eduardo Ockrassa Morales**

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA  
DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CARLOS EDUARDO OCKRASSA MORALES**

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian De León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

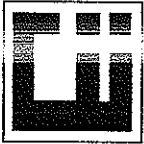
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,  
con fecha 03 de octubre de 2013.



**Carlos Eduardo Ockrassa Morales**



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



Guatemala, 17 de noviembre de 2016

Ingeniero  
José Gabriel Ordoñez Morales  
Área de Materiales y Construcciones Civiles  
COORDINADOR

Ingeniero Ordoñez

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN**, elaborado con el estudiante universitario Carlos Eduardo Ockrassa Morales, quien contó con la asesoría de la suscrita.

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

Atentamente,

*"Id y enseñad a todos"*

  
Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Col. 5947  
ASESORA

*Dilma Y. Mejicanos Jol*  
Ingeniera Civil  
Col. 5947



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
01 de febrero de 2017

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 **IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRAULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Eduardo Ockrassa Morales 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

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



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
**USAC**

/mrrm.





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

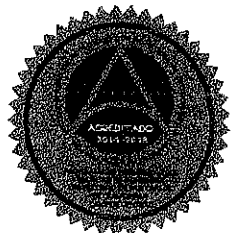


El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Eduardo Ockrassa Morales, titulado IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DIRECTOR  
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, marzo 2017  
/mrrm.



*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 159.2017

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: **IMPLEMENTACIÓN DE MORTEROS HIDRÁULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACIÓN**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Eduardo Ockrassa Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, marzo de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Mis padres</b>	Sandra Morales y Roberto Ockrassa, por su amor, esfuerzo y enseñanza. Siempre serán mi inspiración.
<b>Mi novia</b>	Inés Virginia Cayax Soto, por su amor y apoyo en todo momento de mi carrera.
<b>Mi hermano</b>	Alfredo Otto Roberto Ockrassa Morales, por ser una importante persona a seguir en mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Paula y Fernando Ockrassa Morales. Por su apoyo y amistad.
<b>Mi abuela</b>	Rosa Corina Galán, por su apoyo y atención en todo este tiempo.
<b>Mi abuelo</b>	Que en paz descansa, por todo su apoyo que me brindó en vida.
<b>Mis tíos</b>	Por estar ahí y apoyarme en mi crecimiento.
<b>Mi jefa</b>	Claudia Lucía Batres España, por apoyarme y brindarme su amistad, en todo momento.

**Mi asesora de tesis**

Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol, por todo su apoyo y atención en mi formación como ingeniero.

**Mis amigos**

Por su amistad y compañerismo, en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, y permitirme lograr tan importante meta.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser el lugar donde he aprendido a ser un profesional.
<b>Mis amigos de la Facultad</b>	Alberto Rodríguez, Alvin Voltaire y Jairo López.
<b>Mario Cayax</b>	Por recibirme en su familia y darme un ejemplo de esfuerzo y trabajo.
<b>Miguel Reyes</b>	Por apoyarme y brindarme siempre su ayuda en todo momento.
<b>Ligia Soto</b>	Por arroparme en su familia y por toda su atención, siempre con cariño.
<b>Mina de Reyes</b>	Por su cariño y apoyo, en todo momento.
<b>Yeimi Reyes</b>	Por apoyarme y animarme siempre a seguir adelante.
<b>María Del Sol Mendez</b>	Por permitirme trabajar con ella y apoyarme en todo momento.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS .....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Morteros .....	1
1.1.1. Significado y funciones .....	1
1.1.2. Propiedades de los morteros .....	2
1.1.2.1. Propiedades de los morteros en estado plástico .....	2
1.1.2.2. Propiedades de los morteros en estado sólido.....	4
1.1.3. Composición y su efecto en las propiedades .....	5
1.1.3.1. Resistencia .....	6
1.1.3.2. Materiales cementantes .....	6
1.1.3.3. Agregados.....	7
1.1.3.4. Agua .....	7
1.1.3.5. Aditivos .....	7
1.2. Cal.....	8
1.2.1. Propiedades físicas.....	8
1.2.2. Tipos.....	9
1.2.2.1. Cal viva .....	9

	1.2.2.2.	Cal hidratada .....	10
	1.2.2.3.	Cal hidráulica.....	10
	1.2.2.4.	Cales grasas.....	10
	1.2.2.5.	Cal magra .....	10
1.3.		Polvo de arcilla de ladrillo (chamota) .....	11
	1.3.1.	Arcillas.....	11
	1.3.2.	Naturaleza química de las arcillas .....	12
	1.3.3.	Propiedades físicas, químicas y mecánicas de las arcillas.....	13
	1.3.4.	Usos más comunes e importantes de la arcilla en Guatemala.....	14
	1.3.5.	Propiedades de las arcillas como materia prima para morteros .....	14
	1.3.5.1.	Plasticidad .....	15
	1.3.5.2.	Capacidad aglomerante.....	15
	1.3.6.	Obtención de arcilla por desperdicio.....	15
2.		DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	17
	2.1.	Muestreo .....	17
	2.1.1.	Análisis de la cal.....	17
	2.1.1.1.	Componentes químicos de la cal .....	17
	2.1.1.2.	Índices de hidraulicidad de la cal .....	18
	2.1.2.	Análisis de la arcilla .....	19
	2.1.2.1.	Componentes de la arcilla .....	20
	2.1.2.2.	Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción .....	20
	2.2.	Características químicas de la cal y arcillas .....	22
	2.2.1.	La química del tratamiento de la cal con la arcilla ...	22
	2.2.2.	Mezclas de cal-puzolanas .....	23

2.3.	Propiedades mecánicas.....	23
2.3.1.	Resistencia mecánica .....	24
2.4.	Ensayos.....	24
2.4.1.	Características físicas de la arcilla .....	25
2.4.1.1.	Ensayo de Límites de Atterberg, límite líquido y plástico, Normas AASTHO T89-68 y T90-70, ASTM D- 4318.....	25
2.4.1.2.	Gravedad específica, Normas AASTHO T100, ASTM D-854.....	26
2.4.1.3.	Análisis granulométrico Método del Hidrómetro, Normas AASTHO T88, ASTM D-422 .....	29
2.4.2.	Ensayo físico de hidráulidad de la cal.....	29
2.4.3.	Ensayos mecánicos: resistencia a tensión y compresión .....	30
2.4.3.1.	Composición de los prismas.....	31
3.	INTERPRETACIÓN.....	41
3.1.	Antecedentes.....	41
3.2.	Parámetros químicos.....	41
3.3.	Parámetros físico-mecánicos.....	41
3.3.1.	Prueba de reacción álcali-agregado.....	42
3.3.1.1.	Método de las barras de mortero, según Norma ASTM C1260 .....	43
3.4.	Caracterización de morteros.....	49
3.4.1.	Tipos.....	49
3.4.1.1.	Mortero de cemento hidráulico .....	50
3.4.1.2.	Mortero de cal .....	50

3.4.1.3.	Mortero de cal y chamota .....	50
3.5.	Análisis de dos variables .....	50
3.5.1.	Interinfluencia cal-cemento .....	52
3.5.2.	Interinfluencia cal-chamota .....	52
3.5.3.	Interinfluencia chamota-agua .....	52
4.	RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS.....	53
4.1.	Resultados obtenidos en laboratorio .....	53
4.1.1.	Morteros de cemento y cal .....	53
4.1.2.	Morteros de cal y chamota .....	54
4.2.	Resultado en análisis de agregados.....	57
4.3.	Resultado en análisis de las propiedades del mortero.....	58
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS .....	65
5.1.	Comparación de los resultados experimentales y los teóricos, según normas para morteros .....	65
5.2.	Análisis de agregados .....	66
5.3.	Análisis de las propiedades del mortero .....	66
5.4.	Comparación de mortero de cal y cemento, con el mortero de cal y chamota .....	67
5.5.	Análisis de costos .....	68
	CONCLUSIONES .....	71
	RECOMENDACIONES .....	73
	BIBLIOGRAFÍA .....	75
	ANEXOS .....	77



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Agregados por método de desplazamiento de agua .....	27
2.	Ensayos de cubos a compresión.....	33
3.	Dimensiones de prisma a compresión.....	34
4.	Falla típica de separación, ensayo a compresión prismas.....	35
5.	Dimensiones de prisma a corte .....	36
6.	Falla por corte, ensayo a corte en prismas.....	37
7.	Características de la máquina de ensayo para adherencia .....	38
8.	Dimensiones de prisma para adherencia .....	39
9.	Falla por tracción diagonal, ensayo de adherencia.....	39
10.	Moldes dimensiones sistema internacional .....	44
11.	Comparador de longitud con indicador digital de 10", 120V 60Hz, H-3250D.....	45
12.	Mezclador de 5-Qt. (4,74 l), 120V 60Hz—H-3841 .....	47
13.	Mesa de flujo.....	48
14.	Gráfica de resultados de barras de mortero .....	57
15.	Gráfica de análisis granulométrico de chamota .....	60
16.	Metro cuadrado de muro de bloques con mortero de cal y chamota ....	69

### TABLAS

I.	Tipos de aditivos químicos según la Norma NTG 41070 (ASTM C-494).....	8
II.	Denominaciones de cal.....	9

III.	Clasificación del índice de hidraulicidad.....	19
IV.	Valores promedio para propiedades físicas de tipos de rocas .....	28
V.	Proporciones aplicadas a los morteros en los prismas .....	32
VI.	Requisitos de graduación de los agregados .....	43
VII.	Interinfluencia cal-cemento .....	52
VIII.	Interinfluencia cal-chamota .....	52
IX.	Proporción modelo.....	54
X.	Proporción chamota al 25 %.....	55
XI.	Proporción chamota al 20 %.....	55
XII.	Proporción chamota por cemento .....	56
XIII.	Resumen de resultados barras de mortero .....	56
XIV.	Ensayo de gravedad específica AASHTO T-100, ASTM D-854 .....	57
XV.	Ensayo de Límites de Atterberg.....	59
XVI.	Resultados análisis granulométrico Método del Hidrómetro.....	59
XVII.	Trabajabilidad, retención de agua y masa unitaria del mortero .....	61
XVIII.	Resistencia a compresión en cubos .....	61
XIX.	Carga última y resistencia a compresión para mezcla 1 y 2.....	62
XX.	Carga última a corte mezcla 1 y 2.....	62
XXI.	Carga última y resistencia a compresión para mezcla 1 y 2.....	63
XXII.	Resultados óptimos de expansión de mortero cal y chamota .....	65
XXIII.	Rango máximo permisible de cambio de longitud .....	66
XXIV.	Comparación de morteros .....	68
XXV.	Dimensiones de los bloques utilizados en los prismas.....	68
XXVI.	Resultados de costos en mortero de cal y chamota.....	70

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A/C</b>	Agua/cemento
<b>Ac</b>	Área del cubo
<b>CAH</b>	Calcio-aluminatos
<b>CSH</b>	Calcio-silicatos
<b>F</b>	Carga a compresión
<b>Fd</b>	Carga a corte
<b>Fc</b>	Carga de confinamiento
<b>Fh</b>	Carga lateral
<b>cm</b>	Centímetro
<b>V</b>	Coefficiente de variación de Pearson
<b>D</b>	Densidad, diámetro
<b><math>\sigma</math></b>	Desviación estándar
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramos por centímetro cúbico
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>IP</b>	Índice de plasticidad
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo por centímetro cuadrado
<b>LC</b>	Límite de contracción
<b>LL</b>	Límite líquido
<b>LP</b>	Límite plástico
<b>pH</b>	Medida de alcalinidad
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico

<b>μm</b>	Micrómetro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>No.</b>	Número
<b>N</b>	Número de datos
<b>p.</b>	Página
<b>%</b>	Porcentaje
<b>PM</b>	Portland tipo I
<b>f'c</b>	Resistencia a compresión de mortero y concreto
<b>SM</b>	Semipermeable

## GLOSARIO

<b>Aglomerante</b>	Material natural que al agregarlo a otros, es capaz de unir partículas.
<b>Agregado</b>	Conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial.
<b>Área bruta</b>	Producto del largo por el ancho de los bloques.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales.
<b>Bloques</b>	Elementos que se emplean apilados, ensamblados o unidos con un mortero u otro material similar para construir muros.
<b>Chamota</b>	Polvo de arcilla de ladrillo.
<b>CII</b>	Centro de Investigaciones de Ingeniería.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Conglomerante</b>	Son materiales que por medio de transformaciones químicas en su masa, originan nuevos compuestos y

se utilizan para unir y dar cohesión al conjunto de materiales.

**Entumece**

Procede del latín *intumescere*, hincharse.

**Prisma**

Elemento fabricado con bloques, de dimensiones mucho menores que un muro real.

## RESUMEN

Este trabajo de investigación contempla la elaboración de mortero utilizando cal y chamota, para su utilización en la unión de bloques para mampostería, que pudieran ser utilizados en una obra nueva o para restauración.

La chamota está constituida por polvo de arcilla de ladrillos que ya han sido utilizados y que han sido desechados como desperdicio; el ladrillo ha sido triturado y por medio de tamizado, según Norma ASTM D-422, se han realizado evaluaciones del agregado y se ha determinado utilizar el material más fino para su uso como conglomerante, en la elaboración de la mezcla del mortero.

Este material en evaluación ha sido introducido en el mortero, sustituyendo parte de la proporción de la arena; también se ha utilizado sustituyendo en proporción, al cemento, obteniendo nuevas características y propiedades a través de los ensayos que se realizan.

Se realizan ensayos referentes a las propiedades químicas y mecánicas del agregado, a través de ensayos del mortero por medio de barras de mortero; esto para evaluar el potencial de expansión perjudicial y de la elaboración de prismas para verificar las propiedades mecánicas y su resistencia ante una carga aplicada.





# OBJETIVOS

## General

Implementar morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración.

## Específicos

1. Determinar las características físicas de la cal y la chamota para su implementación en morteros.
2. Establecer las propiedades mecánicas de la cal y de la chamota que provean de mayor resistencia a los morteros.
3. Determinar la reacción de expansión o contracción al utilizar cal y chamota.
4. Analizar la resistencia del mortero en prismas de mampostería, de acuerdo a la plasticidad.
5. Utilizar la proporción de materiales para mortero propuesta por la norma, por ser la chamota un material reactivo.



## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación muestra la implementación del polvo de ladrillo como conglomerante en la utilización de los morteros hidráulico de cal, con lo que se espera reducir la utilización de los agregados tradicionales, sin que esto disminuya las características y propiedades adecuadas que debe de poseer un mortero en su aplicación en obras nuevas y para restauraciones.

Actualmente, en la construcción se da la utilización de muchos materiales, y cada día se implementan nuevos tipos de agregados que pueden ser utilizados por sus diferentes propiedades, que aportan nuevas alternativas y mejoran las propiedades de las mezclas de mortero, como lo detalla en el informe, que muestra las propiedades mecánicas que contiene el polvo de ladrillo y que refuerzan las condiciones hídricas que proporciona la cal en un mortero.

Se describen los procesos de elaboración del mortero, indicando las proporciones utilizadas con las comparaciones de los resultados obtenidos, mostrando las diferentes propiedades y características, al ser expuestos a cargas mecánicas y de resistencia que representan las condiciones a las que se exponen los morteros en una obra ya terminada.

Los resultados obtenidos, que muestran la buena resistencia a cargas mecánicas de los morteros que incluyen chamota, permiten determinar propiedades y dar conclusiones referente a la utilización que puede ser objeto la chamota en la elaboración de morteros, planteando las ventajas y desventajas que presentan.



# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Morteros**

Es una mezcla de cemento o cal con arena y agua. De tal manera que lo conforman uno o varios aglomerantes minerales (materiales cementantes), agregados (material de relleno), agua y a veces adicionales y/o aditivos.

### **1.1.1. Significado y funciones**

Entre los significados de los morteros se tienen los que se utilizan para adherir unidades de mampostería, a los cuales se les conoce como morteros para levantado de muros (morteros de albañilería) y los aplicados como revestimiento, son llamados morteros para recubrimiento y acabados.

La función de un mortero es unir elementos de mampostería en la conformación de un elemento estructural, teniendo características de funcionalidad deseadas y con propiedades de comportamiento predecibles; como por ejemplo, la unión de bloques de concreto para construir una pared con capacidad de soportar cargas y esfuerzos de corte, flexión y torsión.

Entre otras cualidades, el mortero también proporciona un colorido adicional o un acabado en las paredes o muros en donde es empleado.

## **1.1.2. Propiedades de los morteros**

Son en general 2 grupos de propiedades; para estado plástico y endurecido. Estas son reguladas bajo normas y especificaciones de materiales de construcción, junto a las características y componentes del mortero; tanto para brindar calidad, como seguridad al usuario.

### **1.1.2.1. Propiedades de los morteros en estado plástico**

Las propiedades plásticas determinan la adaptabilidad de un mortero en la construcción (trabajabilidad, fluidez y retención de agua). Estas indican que tan manejable es un mortero en cuanto pasa de estado líquido a plástico en la obra, al fraguar.

- **Trabajabilidad**

Los morteros trabajables son los que se esparcen fácilmente con una cuchara o espátula dentro de las separaciones y hendiduras de las unidades de mampostería. En campo el albañil es capaz de evaluar la trabajabilidad. Es la propiedad más importante de los morteros en estado plástico al combinar varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia; las cuales se miden en pruebas de laboratorio.

- **Fluidez (*flow*)**

Esta propiedad se mide como una fluidez inicial, es medida en laboratorio como en la construcción, indica el porcentaje de incremento del diámetro de la base de un cono de mortero truncado, cuando es puesto en una mesa de flujo y

mecánicamente levantado 12,70 milímetros (1/2 pulgada) y soltado 25 veces en 15 segundos. Este ensayo se detalla en las Normas NTG 41011, NTG 41002 y NTG 41003 h4 (ASTM C230, C305 y C109) sobre resistencia a la compresión.

Los morteros utilizados en construcción, normalmente requieren un valor de fluidez mayor que los morteros de laboratorio, y consecuentemente poseen mayor cantidad de agua. Los morteros en laboratorio se hacen con una fluidez de 105 a 115 %, esto indica el cumplimiento de su resistencia a compresión, mientras que en construcción pueden llegar a mantener una fluidez entre 130 a 150 %, o aún más al depender de sus componentes, esto con la finalidad de proporcionar mayor trabajabilidad para el albañil, pues en construcción las unidades de mampostería absorben el agua de los morteros, tan pronto surge el contacto, por eso se deben saturar las unidades de mampostería, previa su colocación y trabajabilidad.

La fluidez de un mortero determina una buena adherencia, debido a que el esfuerzo de adherencia aumenta con la fluidez, hasta que el agua emigre a través del mortero hacia la superficie.

- Retención de agua

Es la propiedad que tiende bajo condiciones de succión y evaporación a retener el agua mezclada. Con esto el albañil posee tiempo para ajustar las unidades de mampostería sin que el mortero alcance su fraguado, se rige bajo la Norma ASTM C91 *Standard Specification for Masonry Cement* (Especificación estándar para cemento de mampostería y retención de agua) y NTG 41020h2 (cal hidratada. determinación de la retención de agua).

La retención de agua aumenta con altos contenidos de cal o contenidos de aire, adición de agregados finos según lo estipule la norma o bien por el uso de sustancias retardantes del fraguado.

### **1.1.2.2. Propiedades de los morteros en estado sólido**

Las propiedades del mortero endurecido ayudan a determinar el comportamiento de la mampostería terminada, e incluye características como la adherencia, durabilidad, elasticidad y resistencia a la compresión.

- Adherencia

Se debe a la atracción molecular entre los materiales. Es considerada la propiedad más importante de los morteros, debido a que su función principal es adherir unidades de mampostería. Se evalúa en base a lo siguiente:

- La resistencia a tensión o la fuerza necesaria para separar las unidades.
- La resistencia de deslizamiento por corte entre mortero-unidades.
- La resistencia de separación mortero-unidad por flexión.

Los morteros deben desarrollar una buena adherencia para poder soportar los esfuerzos estructurales, sísmicos, por viento, por cambios de temperatura o contracción de los materiales. En el estudio se consideran variables que afectan una buena adherencia, entre las que destacan: el contenido de aire, tipo de agregados, cantidad de materiales cementantes, tiempo de esparcimiento del mortero, colocación de la unidad, características de las unidades de mampostería, retención de agua del mortero, presión aplicada a la unidad



durante su colocado y sisado, textura de las unidades y las condiciones de curado.

- Extensibilidad y flujo plástico

Extensibilidad es la máxima unidad de deformación que puede sufrir un mortero antes de llegar a la ruptura. Proporciona la máxima elongación posible bajo esfuerzos de tensión.

El flujo plástico o desplazamiento, proporciona flexibilidad a la mampostería, permitiendo ligeros movimientos sin agrietamientos visibles.

- Resistencia a compresión según Norma NGT 41003 h4 (ASTM C-109)

Proporciona criterio en la elección del mortero óptimo, además de la adherencia. Se mide en base al contenido de cemento, la cantidad de agua utilizada y, en menor grado, con el tipo de agregado utilizado.

La resistencia a compresión aumenta con el incremento de cemento, pero disminuye con el incremento de cal, arena, agua o contenido de aire; siendo aconsejable disminuir la resistencia a compresión del mortero, con el fin de mejorar la adherencia.

### **1.1.3. Composición y su efecto en las propiedades**

Un mortero es la mezcla de un material aglomerante (materiales cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente cal y aditivos. Por medio de la Norma NTG 41050 (ASTM C-

270), en sus especificaciones se presentan las propiedades que estos materiales deben cumplir.

#### **1.1.3.1. Resistencia**

La resistencia del mortero se desarrolla por la hidratación del cemento, lograda en cuanto se endurece la mezcla, esta viene dada en  $\text{kg/cm}^2$  y se relaciona con el peso del agua y el cemento, que se denota a/c. Si la relación a/c disminuye, la resistencia aumenta y, por el contrario, a medida que la relación a/c aumenta, la resistencia disminuye.

#### **1.1.3.2. Materiales cementantes**

Su función es adherir los materiales pétreos naturales o artificiales de mampostería o albañilería, siendo los materiales cementantes más utilizados: el cemento Portland tipo I (NTG 41005), para su uso general en la construcción; cemento Portland modificado con puzolanas tipo I (PM) (NTG 41001 y ASTM C595) y la cal hidratada.

También se tienen los cementos hidráulicos que contribuyen a la resistencia y durabilidad. Así también la cal, que en su estado de hidróxido (cal hidratada), provee trabajabilidad, retención de agua y elasticidad. En ambos casos, se aporta una buena resistencia por adherencia.

Se tienen varias combinaciones en la realización de morteros como lo son: cemento – cal, cemento hidráulico - cal (utilizado frecuentemente para regiones sísmicas), cementos de albañilería (sin cal) y los que se refieren a la mezcla de cal - chamota.

### **1.1.3.3. Agregados**

Son materiales pétreos inertes, resultado de la desintegración natural de las rocas u obtenidos de la trituración de las mismas. En su mayoría un mortero se conforma por arena, siendo un llenador accesible, además de retener la forma y consistencia de los mismos, reduciendo la contracción, el sangrado y mejorando la trabajabilidad.

Las Normas NTG 410066 (ASTM C144), recomiendan los límites permisibles en agregados para morteros y rangos permisibles para otras características.

### **1.1.3.4. Agua**

Agente mezclador que proporciona fluidez y contribuye con la trabajabilidad hidratando el cemento y la cal. Debe ser limpia como el agua potable que consumen las personas. La relación A/C (agua/cemento) en los morteros debe de tener un punto óptimo para una buena trabajabilidad.

### **1.1.3.5. Aditivos**

Clasificados de acuerdo a su función como agentes incorporadores de aire, retenedores de agua, acelerante o retardante de fraguado, entre otros. Sin embargo estos contribuyen a disminuir la adherencia y la resistencia a compresión al incrementar el contenido de aire.

La Norma NTG 41070 (ASTM C-494): (Especificación estándar para aditivos químicos para concreto) identifica los tipos de aditivos (Ver tabla I).

Tabla I. **Tipos de aditivos químicos según la Norma NTG 41070 (ASTM C-494)**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
A	Aditivos reductores de agua
B	Aditivos retardantes
C	Aditivos acelerantes
D	Aditivos reductores de agua y retardantes
E	Aditivos reductores de agua y acelerantes
F	Aditivos reductores de agua de alto rango
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes

Fuente: SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. p.64.

## **1.2. Cal**

Es todo producto que proceda de la calcinación de las piedras calizas, estas son piedras naturales calcáreas, compuestas por carbonato de calcio, mezclado generalmente con alúmina, sílice, magnesia, óxidos de hierro y de manganeso.

### **1.2.1. Propiedades físicas**

Las propiedades que posee son hidráulicas y son obtenidas por los silicatos, aluminatos y ferritos formados. En la tabla II se presentan algunas clasificaciones de la cal según su contenido de óxido magnésico.

Tabla II. **Denominaciones de cal**

<b>Tipo de cal</b>	<b>Contenido de óxido magnésico</b>
Cal grasa	<5 %
Cal magnésica	5 % - 20 %
Cal dolomítica	20 % - 41 %

Fuente: ICPC, *Generalidades sobre la cal*. p. 3.

Las especificaciones para obtener una buena calidad de la cal hidratada se encuentran en la Norma NTGO 41018, en estas se describen procedimientos de ensayo para verificar si la misma cumple o no con las características físicas, químicas y mecánicas deseadas.

### **1.2.2. Tipos**

Los diferentes tipos de cal se dan por reacciones químicas del material. Dichos tipos pueden ser usados en diversas actividades dentro y fuera de la construcción, dependiendo de la necesidad con la cual se precise. Estos pueden variar referente al contenido de carbonato de calcio que se da en suelos con temperatura cálida y carbonato de manganeso que se da en temperaturas más templadas.

#### **1.2.2.1. Cal viva**

Se obtiene de la calcinación de la caliza, a una temperatura de 900 °C en la cual se desprende anhídrido carbónico y se transforma en óxido de calcio, siendo capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido. Esto es lo que se entiende como: apagar la cal (o hidratarla), para su uso en la construcción. Las especificaciones se basan en la Norma ASTM C-5.

#### **1.2.2.2. Cal hidratada**

Es el compuesto químico de hidróxido de calcio, que se obtiene con el apagado exotérmico de la cal viva, desprendiendo gran cantidad de calor que evapora parte del agua utilizada, que resulta de unir el óxido de calcio (cal viva) con el agua. Debe cumplir con las normas para tipo S: NTG 41018 (ASTM C-207) sobre cal hidratada y especificaciones.

#### **1.2.2.3. Cal hidráulica**

Tiene la propiedad de fraguar y endurecer en el aire e incluso debajo del agua, está compuesta por la combinación de hidróxido de calcio, sílica ( $SiO_2$ ) y alúmina ( $Al_2O_3$ ). Posee considerablemente más de un 10 % de arcilla.

#### **1.2.2.4. Cales grasas**

Son fabricadas con piedras calizas de gran pureza, las cuales en presencia de agua producen una reacción química con fuerte desprendimiento de calor. Es más fina, flexible y fácil de trabajar, en comparación con la cal hidráulica, pero tiene la desventaja de ser menos resistente, característica que limita su utilización dentro de la construcción, por lo que se utiliza solo para acabados.

#### **1.2.2.5. Cal magra**

Procede de la caliza con carbonato de magnesio al añadirle agua, forman una pasta gris poco tratada, la cual se entumece poco y desprende más calor que las cales grasas. Con el secado se reduce a polvo y se disuelve con el

agua, por estas características no recomendadas no es usada en la construcción.

### **1.3. Polvo de arcilla de ladrillo (chamota)**

La chamota está compuesta por el polvo de arcilla, resultado obtenido al triturar o pulverizar ladrillos de barro cocido, por lo cual este ya posee propiedades mecánicas que en su momento fueron necesarias para las propiedades de un ladrillo (elemento de mampostería), lo que agrega propiedades de conglomerante hidráulicos al mortero cuando es mezclado con agua y cal, lo que se conoce como actividad puzolánica.

La actividad puzolánica responde a un principio basado en que la sílice y la alúmina, como componentes ácidos de los materiales puzolánicos, reaccionan con la cal a temperatura ambiente, para formar compuestos con propiedades cementantes. Para ello están los materiales activados y a estos pertenece la chamota o polvo de ladrillo que se puede considerar como puzolanas artificiales, debido a su tratamiento térmico previo que han sufrido las arcillas para la obtención de ladrillos.

#### **1.3.1. Arcillas**

El polvo de ladrillo o chamota está conformada por la arcilla y esta se define como rocas sedimentarias compuestas de uno o varios minerales, especialmente de silicatos hidratados de aluminio, hierro o magnesio, alúmina hidratada u óxido férrico; dotada comúnmente de plasticidad cuando está suficientemente pulverizada y humedecida, rígida cuando está seca y vítrea cuando se calcina a altas temperaturas.

### 1.3.2. Naturaleza química de las arcillas

La composición química de las arcillas permite tener una idea acerca de la serie de propiedades tales como: resistencia al fuego, estabilidad biológica, características mecánicas y otras técnicas. Las arcillas son constituidas químicamente por átomos de silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno.

Su constitución se basa principalmente en minerales cristalinos claros y diversas cantidades de material no cristalino, demostrado por estudios mineralógicos, que además clasifican las arcillas con base en datos de estructura y composición en cristalino y amorfo.

La estructura del material se estudia en tres niveles:

- La macroestructura, es decir; la composición que se ve a simple vista.
- Su microestructura, indicando la composición que se ve en un microscopio óptico.
- La estructura interna de las sustancias que lo componen a nivel iónico-molecular, por medio del análisis por rayos X, microscopía electrónica, entre otros.

El análisis químico de las arcillas indica por nomenclatura química, que los principales compuestos que contienen son:  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $H_2O$  y cantidades variables de otros óxidos como:  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $MnO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  y  $P_2O_5$ , más los grupos hidroxilos.



Es indispensable conocer la estructura de la arcilla para comprender sus propiedades y así lograr un mejor manejo, estableciendo el mejor efecto técnico-económico.

### **1.3.3. Propiedades físicas, químicas y mecánicas de las arcillas**

Las arcillas cuentan con propiedades físicas, químicas y mecánicas, lo que hace que este material lo emplee la ingeniería en la construcción por su resistencia mecánica, dureza, resistencia al calor como a la corrosión elevada, y con propiedades eléctricas, magnéticas y ópticas; además de proporcionar seguridad y fiabilidad. Se detallan de la siguiente manera:

- Propiedades físicas: indican que posee plasticidad y viscosidad, a través de propiedades hidrofísicas, físico-térmicas, acústicas, eléctricas, que hacen que posea estabilidad contra la corrosión, sea resistencia al frío, a la radiación y al agua.
- Propiedades mecánicas: muestran el comportamiento del material al ser sometido a la acción destructiva y deformativa de cargas aplicadas, como resistencia mecánica, dureza, elasticidad, plasticidad y fragilidad.
- Propiedades químicas: proporciona la capacidad química para transformaciones y estabilidad contra la corrosión del tipo químico.

#### **1.3.4. Usos más comunes e importantes de la arcilla en Guatemala**

El principal uso de las arcillas en el campo de la construcción en Guatemala es para elementos como tejas, ladrillos, tubos, baldosas, entre otros; también es utilizado en la alfarería, lozas y azulejos, en el campo de la cerámica artesanal en la elaboración de porcelana, vasijas y utensilios decorativos.

Entre otros son utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas). En menor proporción es utilizado en la fabricación de papel, carga de abonos, pesticidas y alimentos para animales. Por otro lado, los químicos hacen uso de la arcilla en la fabricación de sulfato, fosfato, cloruro de aluminio y en la fabricación de zeolitas sintéticas. Es utilizado para obtener fibras de vidrio entre otros. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

Por su extraordinaria resistencia a la alta temperatura, las hace adecuadas para su aplicación como recubrimiento que resista considerable temperatura para hornos (refractarios) y aislantes térmicos. Esta puede interactuar con muchas sustancias por su comportamiento plástico, al ser mezclado con el agua.

#### **1.3.5. Propiedades de las arcillas como materia prima para morteros**

Son las cualidades de la arcilla que fortalecen la estructura de un mortero, dotándolos en buena manera de plasticidad y capacidad aglomerante.

### **1.3.5.1. Plasticidad**

Surge cuando es amasada con cierta cantidad de agua, en la cual se forma una pasta arcillosa que posee cohesión y plasticidad. Dicha plasticidad es una propiedad que mantiene la forma deseable del mortero, que en estado húmedo, al estar bajo el efecto de una acción exterior, no aparezcan interrupciones ni grietas, y pueda así conservar la forma adquirida durante la cocción y el secado.

### **1.3.5.2. Capacidad aglomerante**

Mientras que la capacidad aglomerante de la arcilla provee la posibilidad de cohesión de los granos de materiales no plásticos (arenas), y la formación de una masa bruta después del secado con buena resistencia mecánica.

### **1.3.6. Obtención de arcilla por desperdicio**

Uno de los beneficios de utilizar arcilla en la construcción es la posibilidad de recuperar o reciclarla una vez es dejada como desperdicio. La chamota viene a estar compuesta por polvo de arcilla de ladrillo, por lo que el desperdicio lo componen ladrillos quebrados o defectuosos que hayan sido descartados en la construcción.



## **2. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1. Muestreo**

Se obtiene ladrillos tubulares de desperdicio de diferentes características de tamaño por parte de ladrillera INMACO, ubicada en la ruta al Atlántico kilómetro 4,5 zona 17; estos ladrillos han sido desechados por haberse quebrado o presentar características no deseadas estéticamente. Se realiza el proceso de pulverizado, en el cual se va disminuyendo los fragmentos con golpes manuales a martillo para luego introducirlo en una machacadora, la cual pulveriza y convierte las partículas en polvo. Una vez en este estado se debe poner a secar para su posterior uso en los ensayos.

#### **2.1.1. Análisis de la cal**

Como consecuencia de las variaciones de composición de las rocas calcáreas, puede obtenerse una serie de cales, que varían desde cales muy puras; altamente cálcicas, hasta altamente hidráulicas, con contenido de óxido de calcio de un 50 % y con porcentajes menores.

##### **2.1.1.1. Componentes químicos de la cal**

La cal viva e hidratada es bastante estable, pero no tanto como la caliza. La cal viva es completamente estable a cualquier temperatura, siendo vulnerable únicamente con el agua, que incluso con la humedad del aire puede desestabilizarse. Cuenta con una capacidad de absorción de humedad de al menos 24,3 % de su peso. Dato que varía dependiendo de su reactividad

química y de la concentración de agua. Reacciona químicamente con ácidos, otros compuestos y elementos químicos para formar diferentes compuestos de calcio y magnesio.

Por su parte, las cales dolomíticas son levemente más estables que las altas en calcio, no absorben humedad tan rápidamente; y cuando es quemada se mantiene estable bajo la mayoría de las condiciones, excepto cuando su reactividad química y concentración de agua crece por ácidos fuertes y concentrados.

La afinidad de la cal por el  $CO_2$  es bastante pronunciada, a pesar de esto el  $CO_2$  seco no reacciona con la cal viva a temperaturas atmosféricas ordinarias, pero si se incrementa la temperatura, la recarbonatación empieza lentamente cuando la temperatura alcanza los 290 °C. El  $CO_2$  no tiene adsorción significativa cuando está en 400 °C; esta suele comenzar cerca de los 600 °C. En todo caso, la recarbonatación completa incluso a temperaturas elevadas, no ocurre, porque la adsorción es un fenómeno superficial en el cual una costra de  $CaCO_3$ , se forma gradualmente alrededor de la partícula de CaO. Los porcentajes de recarbonatación dependen del tamaño de partícula, con mayor adsorción de  $CO_2$  para las partículas pequeñas.

#### **2.1.1.2. Índices de hidraulicidad de la cal**

Cuantifica la mayor o menor hidraulicidad de una cal. Está conformada por la relación entre los silicatos y aluminatos respecto al óxido de calcio. Se establece según la siguiente fórmula:

$$i = \frac{SO_2 + AL_2O_3 + Fe_2O_3}{OCa + MgO}$$

Tal conformación es de sílice, alúmina, magnesia y cal. En la tabla III, se clasifican los aglomerantes en función del índice de hidraulicidad (i):

Tabla III. **Clasificación del índice de hidraulicidad**

PRODUCTO		ÍNDICE DE HIDRAULICIDAD	TIEMPO DE FRAGUADO
CALES	Cal grasa y magra	0 – 0,10	Sin fragüe
	Cal débilmente hidráulica	0,10 – 0,16	15 a 30 días
	Cal medianamente hidráulica	0,16 – 0,31	10 a 15 días
	Cal propiamente hidráulica	0,31 – 0,42	5 a 9 días
	Cal eminentemente hidráulica	0,42 – 0,50	2 a 4 días
CEMENTOS	Cementos lentos	0,50 – 0,65	1 a 24 hs
	Cementos rápidos	0,65 – 1,70	5 a 15 min.
	Cementos magros	1,70 – 3,00	Fraguan unido a la cal
	Cementos puzólanicos	> 3,00	

Fuente: F. GOMÁ. *El cemento Portland y otros aglomerantes*. p.59.

### 2.1.2. Análisis de la arcilla

Los silicatos forman el árbol genealógico de las arcillas y están comprendidos por la mayoría de los minerales de la corteza terrestre, su composición y estructura tiene relación con la historia geológica de la Tierra, por lo cual su naturaleza depende de la roca madre que les dio origen, y del ambiente en el que fueron sometidos durante la etapa de arrastre o cambio físico.

### **2.1.2.1. Componentes de la arcilla**

En su composición la arcilla es un silicato aluminato hidratado, es decir que desde el punto de vista químico está compuesta de silicio (Si), aluminio (Al), oxígeno (O) e hidrógeno (H).

### **2.1.2.2. Clasificación de las arcillas según su empleo en la construcción**

La arcilla juega un papel importante en la fabricación de materiales para la construcción, debido a tres minerales, los cuales son: la caolinita, montmorillonita y la illita, por contener considerable porcentaje de alúmina y su elevado punto de fusión con propiedades refractarias después de la cocción de los materiales.

Por el tipo de componentes y su proceso de cocción, los materiales de arcillas se clasifican en: ladrillos, refractarios, gres, porcelanas y azulejos. Los cuales poseen características especiales que los hacen útiles para diversas aplicaciones en la construcción.

- Ladrillos: son materiales de arcilla cocida, empleados en la construcción y para revestimiento decorativos. Sus propiedades los hacen resistentes a la humedad y el calor, su fabricación se da de diferentes formas, dependiendo del uso final.
- Refractarios: su composición los hace capaces de resistir temperaturas mayores a 1 500 °C, sin que estos se reblandezcan o sufran cambios de volúmenes apreciables, además resisten a la abrasión en caliente y posee una baja conductividad térmica.



- Gres: es un material cerámico cuya masa es compacta y no porosa, este se obtiene en la mezcla de arcillas que son capaces de vitrificar a bajas temperaturas, con lo cual se obtiene impermeabilidad, dureza y durabilidad. Estas provienen como un compuesto de la arcilla refractaria y de materiales que sean muy fusibles (arcillas especiales y feldespatos).
- Porcelana: es el producto que se obtiene con materiales básicos al sufrir una primera cocción a una temperatura de 1 100 a 1 200 °C, luego el esmaltado y una segunda cocción a una temperatura de hasta 1 500 °C. Los materiales básicos, están compuestos por caolín 50 %, feldepato 30 % y el cuarzo 20 %; deben ser de buena calidad y estar molidos finamente.

En la construcción solo se emplea la porcelana vitrificada, semi-porcelana o loza, en la fabricación de piezas sanitarias. Por su parte la loza es un producto cerámico de color blanquecino, muy poroso y absorbente, y con superficies esmaltadas para mayor impermeabilidad y dureza.

- Azulejos: se refiere a la pieza cuya mezcla es de poco espesor, recubierta por una capa de esmalte que le proporciona impermeabilidad y resistencia al desgaste. Posee una parte estructural que se le llama galleta y está formada por arcillas seleccionadas, plásticas, ricas en cuarzo o caolín y en hierro.

## **2.2. Características químicas de la cal y arcillas**

Las propiedades fisicoquímicas de la cal y de la arcilla, dependen de la cantidad en que se encuentren los componentes principales, las impurezas que contiene y de la manera de realizarla. Sus propiedades están directamente ligadas al uso que se le dé. Cuando las fabrican se reducen las impurezas, tamizando y seleccionando la roca antes de tratarlas.

### **2.2.1. La química del tratamiento de la cal con la arcilla**

Al tener arcilla y se le añade cal y agua, comienzan a ocurrir reacciones químicas de manera inmediata. Estas reacciones corresponden al secado, la modificación y estabilización.

- **Secado:** cuando la cal viva es hidratada con agua, esta libera calor, esto posteriormente reacciona con las partículas de arcilla. De una manera lenta producirán un secado adicional porque las mismas reducen la humedad en las arcillas.
- **Modificación:** una vez realizada la mezcla inicial, los iones de calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) de la cal hidratada emigran a las partículas de arcilla, con lo que desplazan el agua y otros iones. Esta mezcla se hace friable y granular, haciéndolo más fácil para trabajar y compactar. Con esto disminuye el Índice de Plasticidad (IP), así como el material tiende a hincharse y contraerse. Este proceso en los suelos es llamado: floculación y aglomeración, y ocurre en el transcurso de varias horas.
- **Estabilización:** cuando se mezclan cantidades adecuadas de cal, agua con arcilla, hacen que el pH aumente; el resultado hace que se libere

sílice y alúmina que reaccionan con el calcio de la cal, formando hidratos de calcio-silicatos (CSH) e hidratos de calcio-aluminatos (CAH), que son productos cementantes similares a aquellos formados en el cemento Portland. Estos contribuyen a la resistencia de la mezcla, transformando el material arenoso granular en una mezcla dura relativamente impermeable y con capacidad de carga significativa.

### **2.2.2. Mezclas de cal-puzolanas**

La cal por sí misma puede reaccionar con pocas cantidades de arcilla, inclusive con solo 7 % de arcilla e Índices de Plasticidad (IP) bajos como 10. Las arcillas tratadas como en los ladrillos poseen buenas propiedades de sílice y alúmina. Las puzolanas reaccionan con la cal y formar una fuerte matriz cementante, capaz de resistir cargas aplicadas en la mezcla ya endurecida.

### **2.3. Propiedades mecánicas**

Las características mecánicas de las arcillas con la cal, radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- El pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Posee morfología laminar (filosilicatos).
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio ínter laminar.

Derivado de estos factores, presentan un valor elevado del área superficial, la cual es activa con enlaces no saturados. Por ello pueden

interaccionar con muy diversas sustancias, como la cal, que eleva la plasticidad de la mezcla.

### **2.3.1. Resistencia mecánica**

En la mezcla los componentes que poseen partículas más gruesas como sílice triturada, proporcionan resistencia mecánica y las de partículas finas, especialmente las que contienen montmorillonita son las más fuertes que, adherido a los componentes de la cal, hacen capaz de resistir considerables cargas aplicadas.

La estructura laminar de las arcillas permite el almacenamiento de agua en el espacio ínter laminar, formando así agregados difíciles de romper. La combinación de arcilla con el óxido de calcio contribuye a la estabilidad estructural necesaria para resistir los efectos mecánicos destructivos y provee durabilidad a las unidades que serán juntas.

## **2.4. Ensayos**

Son empleados para evaluar la calidad y determinar las características de los materiales, a través de especificaciones indicadas en normas que proporcionan procedimientos y metodologías que deben efectuarse en el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Se realizan los ensayos de análisis granulométricos de los Límites de Atterberg, hidráulica de la cal y gravedad específica, y ensayos mecánicos de resistencia a compresión, corte y expansión.

### **2.4.1. Características físicas de la arcilla**

Estas se caracterizan porque poseen un pequeño tamaño de partícula (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ), su morfología laminar y las sustituciones isomórficas que generan cargas en las láminas, da lugar a que puedan interaccionar con diversas sustancias como la mezcla con el agua que genera un comportamiento plástico con elevada proporción sólida y líquida.

#### **2.4.1.1. Ensayo de Límites de Atterberg, límite líquido y plástico, Normas AASTHO T89-68 y T90-70, ASTM D-4318**

Se establece según la consistencia de un material y el contenido de agua que posea, en diferentes estados. De tal manera que el material se puede encontrar en estado sólido, semi-sólido, plástico, semi-líquido y líquido, al ir graduando la cantidad de agua. De acuerdo a estos estados se consideran tres límites de consistencia:

- El límite de contracción (LC), comprendido entre el estado sólido y semi-sólido.
- El límite plástico (LP), comprendido entre los estados semi-sólido y plástico.
- El límite líquido (LL), comprendido entre los estados plástico y semi-líquido.

### **2.4.1.2. Gravedad específica, Normas AASTHO T100, ASTM D-854**

Es la característica que resulta de la relación entre la densidad de un material y la densidad del agua, generalmente usada para calcular el volumen que ocupa el agregado en las mezclas que contienen el mismo, como las de cemento hidráulico, o en este caso con polvo de ladrillo; que son analizadas sobre la base de volumen absoluto.

Ecuación para gravedad específica:  $(G) = A / (B - C)$

Donde:

G = gravedad específica.

A = masa de la muestra de ensayo, seca al horno, al aire en gramos.

B = masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca en el aire, en gramos.

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua en gramos.

- Método de ensayo:

Primero se tamiza el material, desechando el agregado que pase el tamiz número 4, luego se lava el material con la finalidad de remover el polvo, se seca en el horno a  $110 \pm 5$  °C y para finalizar la preparación se deja en un ambiente fresco.

Figura 1. **Agregados por método de desplazamiento de agua**



Fuente: Sección de Mecánica de Suelos/CII.

El volumen se determina por el método de desplazamiento de agua. Con el material ya preparado se sumerge una muestra del agregado en agua por  $24 \pm 4$  horas para, esencialmente, llenar los poros. Posteriormente se remueve la muestra del agua, se debe procurar secar la superficie de las partículas, se toma medida de la masa. Luego, para finalizar, secar la muestra al horno y determinar su masa luego de secar. Con los valores de masa obtenidos y las ecuaciones indicadas en la norma, se calcula la gravedad específica.

Tabla IV. Valores promedio para propiedades físicas de tipos de rocas

Tipo de roca	Gravedad específica (SH)	Absorción, 1 (%)
<b>Igneas</b>		
Granito	2,65	0,3
Sienita	2,74	0,4
Diorita	2,92	0,3
Gabro	2,96	0,3
Peridotita	3,31	0,3
Felsita	2,66	0,8
Basalto	2,86	0,5
Diabasa	2,96	0,3
<b>Sedimentarias</b>		
Caliza	2,66	0,9
Dolomita	2,7	1,1
Arcilla esquistosa	1,80-2,50	
Arenisca	2,54	1,8
Chert	2,5	1,6
Conglomerado	2,68	1,2
Brecha	2,57	1,8
<b>Metamórficas</b>		
Gneis	2,74	0,3
Esquisto	2,85	0,4
Anfibolita	3,02	0,4
Pizarra	2,74	0,5
Cuarzita	2,69	0,3
Mármol	2,63	0,2
Serpentina	2,62	0,9

Fuente: WADDELL J. y DOBROWOLSKI J., *Manual de la Construcción con Concreto*, p. 2.9.



### **2.4.1.3. Análisis granulométrico Método del Hidrómetro, Normas AASTHO T88, ASTM D-422**

Es utilizado para determinar la distribución de los tamaños de partículas de material muy fino, tal como limo y arcilla. Por medio de jarras de hidrómetro o de sedimentación que son depositadas en un baño o recipiente. El objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje de limos y arcillas, en suelos que pasan el tamiz número 200. De tal manera que la distribución de las partículas mayores que 0,075 mm (retenido tamiz número 200) es determinada por tamizado, y la más fina es determinada por procesos de sedimentación usando un hidrómetro y utilizando hexametáfosfato de sodio como dispersador de partículas.

- Método Mecánico, Normas AASTHO T88, ASTM D-422

Este consiste en tomar una muestra representativa del material de estudio y separar las partículas de suelo, agrupándolas dentro de un rango por tamaño. Se realiza utilizando un juego de tamices, cuyas mallas tienen diámetros diferentes; colocándose el mayor diámetro sobre el de menor diámetro inmediato, obteniendo el porcentaje de material retenido en el tamiz No. 200. Los datos obtenidos del Método Mecánico se pueden combinar con los del Método del Hidrómetro.

### **2.4.2. Ensayo físico de hidraulicidad de la cal**

Para la hidraulicidad de la cal, se determina la retención de agua en cal hidratada, según Norma ASTM C-110, la cual especifica una fluidez comprendida en rangos de 100 % a 115 %. Se utiliza una porción de 500

gramos de cal por 1 500 de arena estándar y una dosificación de 680 mililitros de agua, según requirió el material en estado seco.

Ecuación:

$$W_R = \left( \frac{F_f}{F_i} \right) \times 100$$

$W_R$  = valor de retención de agua, en %

$F_f$  = trabajabilidad antes de la succión

$F_i$  = trabajabilidad después de la succión

### **2.4.3. Ensayos mecánicos: resistencia a tensión y compresión**

Al realizar un mortero, en sus diferentes aplicaciones como en el levantado, repellos, restauración, albañilería y otros, deben de ser capaces de soportar los esfuerzos de tensión (originados por los movimientos del muro) y esfuerzos de contracción (originados por los cambios de temperatura), sin mostrar fisuras o agrietamientos.

Para conocer si el mortero cumplirá los requisitos de obra, se debe de aplicar la Norma ASTM C-270 y complementarla evaluando el desempeño de los morteros, ensayando prismas de mampostería con el método de la Normas ASTM E-447 (Métodos Estándar de ensayo de Resistencia de Prismas para Mampostería).

En la Norma ASTM C-270, la nota 4 indica que el tipo de mortero debe correlacionarse con las piezas de mampostería. Los ladrillos, por ejemplo, son piezas de gran tasa inicial de absorción, por lo que la norma recomienda morteros con gran retención de agua. Generalmente esto significa un mortero

con alto contenido de cal. Entonces al agregar polvo de arcilla como aglomerante de un mortero, es necesario cuidar y dotar de buena retención de agua a la mezcla.

#### **2.4.3.1. Composición de los prismas**

Los prismas deben de ser elaboradas con unidades de mampostería y contenido de humedad representativo de las usadas en la construcción. Cuando los prismas se usan para el control o aseguramiento de la calidad en la obra, debe registrarse la localización en la estructura que corresponde al juego de prismas fabricado.

Se debe de fabricar los prismas con un mínimo de dos unidades en altura con una relación de altura a espesor del prisma entre 1,3 y 5,0, con unidades de tamaño completo o de longitud reducida, utilizando juntas de mortero y un método de posicionar y alinear las unidades.

Componentes utilizados en los prismas:

- *Block*: se hace uso de *blocks* estándar producidos por máquinas manuales de planta, si bien no son los que ofrecen la más alta calidad, si son por lo general los más utilizados en construcciones de restauración y demuestran una calidad aceptable.
- Mortero: se elabora de cal y chamota, agregando además cemento para fortalecer la constitución del mismo y arena que proporciona consistencia y mayor volumen.

- Proporciones

Se realizan dos tipos de mortero variando la proporción de chamota, obteniendo los resultados óptimos. Las proporciones utilizadas son:

Tabla V. **Proporciones aplicadas a los morteros en los prismas**

Proporción	Mezcla	Cemento	Cal	Arena	Chamota	Agua
1	1	1	1	3,2	0,8	1,40
2	0,8	1	1	3,2	1	1,43

Fuente: Datos experimentales, referencia Norma NTG 41052 (ASTM C-476).

- Resistencia a compresión, según Norma NTG 41003h4 (ASTM C-109)

Se ensayan en estado endurecido a través de cubos de 50 mm por lado, de los cuales se obtiene la carga de fractura, al ser aplicada por medio de la máquina para ensayos a compresión.

Resistencia a compresión:

$$f'c = \frac{F}{Ac}$$

$f'c$  = resistencia a compresión, en kg/cm<sup>2</sup>

F = carga de compresión, en kg

Ac = área del cubo

Promedio

Desviación estándar

Coefficiente de variación de Pearson

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

$\bar{X}$  = promedio

$\sum X$  = Suma de datos

N = número de datos

$\sigma$  = desviación estándar

$X_i$  = cada uno de los datos

V = coeficiente de variación de Pearson

Figura 2. **Ensayos cubos a compresión**

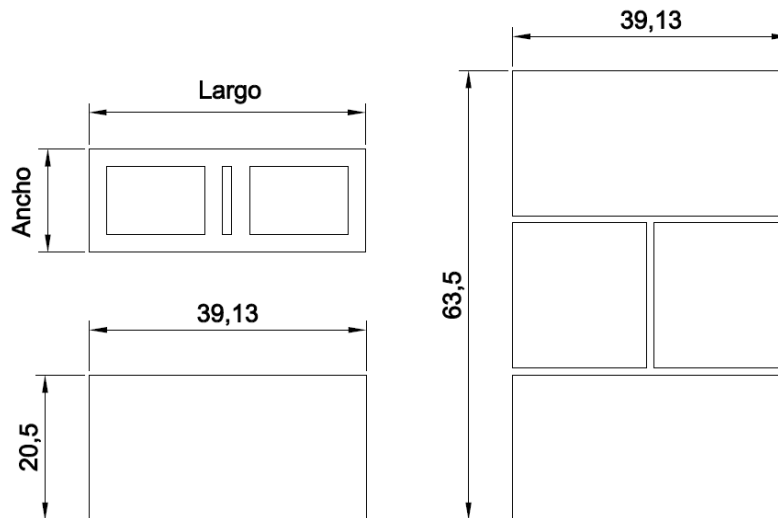


Fuente: Ensayo realizado en la máquina universal del Laboratorio de Agregados, Concretos y Morteros/CII-USAC.

- Resistencia a compresión en prismas

Se calcula la resistencia de cada prisma de mampostería dividiendo la máxima carga de compresión de cada prisma por el área seccional neta de ese prisma, que se constituye usando la altura y la menor dimensión lateral del prisma, expresando el resultado en kilogramos fuerza sobre el área de la sección. Se ensayan dos prismas en un período de 28 días.

Figura 3. Dimensiones de prisma a compresión



Fuente: elaboración propia.

- Norma: ASTM E-447 *Standard test method for compressive strength of laboratory constructed masonry*. (Método de prueba estándar para resistencia a compresión de mampostería construida en laboratorio).
- Procedimiento: se coloca, alinea y nivela el prisma en el marco de ensayo, luego se aplica carga hasta lograr la falla del mismo, tomando datos de prisma antes y después de la falla.

Ecuaciones:

( $A_b$ ) = área bruta del bloque

Largo = longitud del lado más grande del bloque en  $\text{cm}^2$

Ancho = longitud base corta del bloque en  $\text{cm}^2$

Resistencia a compresión

Área bruta

$$f'c = \frac{F}{Ab}$$

$$(Ab) = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

Definiciones:

$f'c$  = resistencia a compresión, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

F = carga de compresión última, en kg

(Ab) = área bruta del bloque

Largo = longitud del lado más grande del bloque en  $\text{cm}^2$

Ancho = longitud base corta del bloque en  $\text{cm}^2$

Figura 4. **Falla típica de separación, ensayo a compresión prismas**

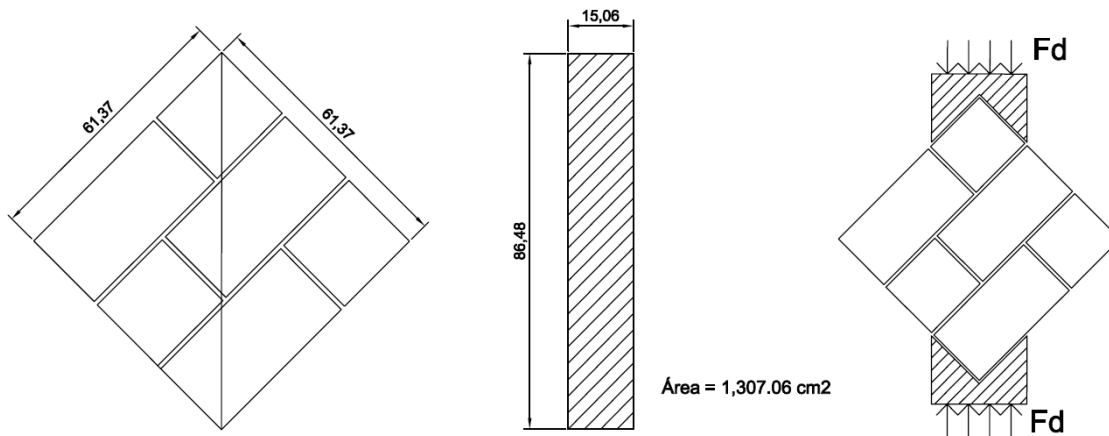


Fuente: Ensayo realizado en el Área de Prefabricados/CII-USAC.

- Resistencia a corte en prismas

Se evalúan prismas colocados en un ángulo de 45° para inducir esfuerzos cortantes en el sistema, aplicando sobre el prisma cargas hasta que se sobrevenga la falla. Se ensayaron dos prismas a la edad de 28 días, uno por cada tipo de mezcla.

Figura 5. Dimensiones de prisma a corte



Fuente: elaboración propia.

- Norma: ASTM E-519 *Standard test method of diagonal tension (shear) in masonry assemblages*. (Método de prueba estándar de tensión diagonal (corte) en ensambles de mampostería).
- Procedimiento: se coloca, alinea y centra el prisma con los apoyos en el marco de ensayo, luego se aplica carga hasta lograr la falla del prisma, tomando datos antes y después de la falla.



Ecuaciones:

Promedio      Desviación estándar      Coeficiente de variación de Pearson

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N}} \qquad V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

Definiciones:

$\bar{X}$  = carga promedio

$\sum X$  = suma de cargas

$N$  = número de datos

$\sigma$  = desviación estándar

$X_i$  = cada uno de los datos

$V$  = coeficiente de variación de Pearson

Figura 6.      **Falla por corte, ensayo a corte en prismas**

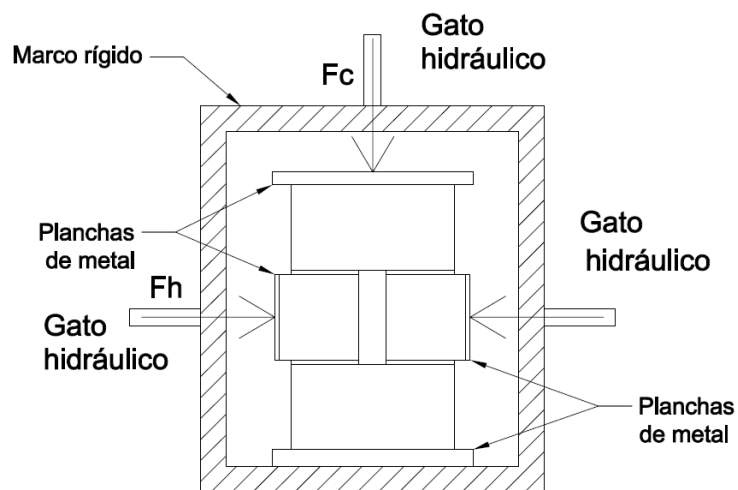


Fuente: Ensayo realizado en el Área de Prefabricados/CII-USAC.

- Adherencia en prismas

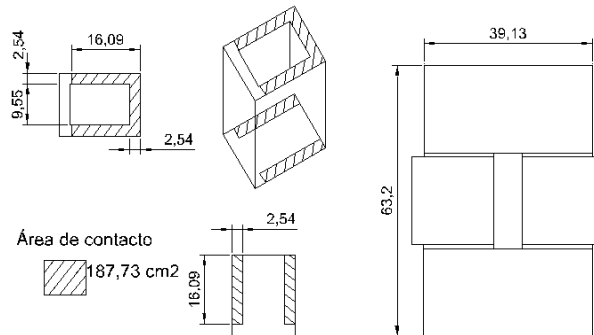
Este ensayo no se encuentra normado, pero determina la presión normal de contacto del mortero en un área determinada de contacto, que representa lo que une los bloques. Se ensayaron dos prismas a una edad de 28 días en el marco de carga en el Área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC.

Figura 7. **Características de la máquina de ensayo para adherencia**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Dimensiones de prisma para adherencia**



Fuente: elaboración propia.

- Procedimiento: se coloca, alinea y nivela el prisma en el marco de ensayo, luego se procede a armar los gatos hidráulicos y a colocar las placas correspondientes en cada lado, se aplica carga tanto lateral como a compresión hasta lograr la falla del prisma, se toman datos de prisma antes y después de la falla.

Figura 9. **Falla por tracción diagonal, ensayo de adherencia**



Fuente: Ensayo realizado en el Área de Prefabricados/CII-USAC.



## **3. INTERPRETACIÓN**

### **3.1. Antecedentes**

La fuente más completa para el estudio de los morteros de cal y chamota, se encuentra en Europa y se remonta a la época de Vitrubio (Siglo I a. de C.), quien planteo especificaciones para el uso de cal en morteros y mostró la ventaja de adherirle materiales con puzolanas. En un principio se utilizaba ceniza volcánica; en Grecia se utilizaba después de la gran explosión del volcán Santorini; posteriormente al no tenerse más ceniza, los romanos emplearon tejas y ladrillos para sustituirlos.

Posteriormente, Vicat en el siglo XIX, definiría la teoría de la hidraulicidad, afirmando que cuando la caliza contiene cierta porción de arcilla, da lugar a una cal hidráulica.

### **3.2. Parámetros químicos**

Son establecidos en los materiales que conforman el mortero y según la reacción química entre los minerales contenidos en los agregados como los silíceos y las sustancias alcalinas de los concretos que al unirse absorben agua y provocan expansión. Los álcalis son sodio y potasio.

### **3.3. Parámetros físico-mecánicos**

En toda construcción es importante la seguridad y durabilidad, por lo cual se hace evaluaciones físicas para determinar los motivos del deterioro que

sufren los materiales que la componen, entre los que destaca la reacción álcali-agregado.

### **3.3.1. Prueba de reacción álcali-agregado**

Indica que algunos agregados reaccionan con los diferentes tipos de cemento, generando expansiones peligrosas para el mortero, en este caso. La reacción puede producirse entre los álcalis del cemento y ciertos agregados que contengan sílice reactiva, siempre que existan condiciones adecuadas de humedad, que es en razón directa a su hidratación.

Los deterioros que puede llevar a las estructuras a su destrucción tienen su origen en la reacción química que ocurre entre los óxidos alcalinos y algunos tipos de minerales presentes en los agregados. Esta reacción origina la formación de un gel que, en contacto con el agua, produce una expansión importante con la consecuente fisuración, pérdida de resistencia y durabilidad de la estructura.

La composición química es variable, dependiendo del grado de desorden en la estructura del agregado, de su porosidad y tamaño de la partícula. Los cuales, junto a la presencia de iones de hidroxilo y de metal alcalino forman los geles de álcali-silicato.

Existen tres métodos que son normados para la determinación de la reacción álcali-sílice: el químico, petrográfico y de las barras de mortero, que puede ser normal o acelerado.

En esta investigación se realiza únicamente el método de las barras de mortero acelerado, que suele ser el más utilizado por dar una evaluación a corto plazo de la identificación de minerales con potencialidad reactiva.

### **3.3.1.1. Método de las barras de mortero, ASTM C1260**

Consiste básicamente en verificar la variación de longitud de las barras de mortero sumergidos en una solución de 1N de hidróxido de sodio (NaOH).

Se utilizaron en total 3 proporciones diferentes de chamota. Las barras de mortero son preparadas de acuerdo a las Normas ASTM C227, que indican las dimensiones de 25 mm x 25 mm x 285 mm. La Norma indica que el agregado utilizado debe tener la composición granulométrica indicada en la tabla VI.

Tabla VI. **Requisitos de graduación de los agregados**

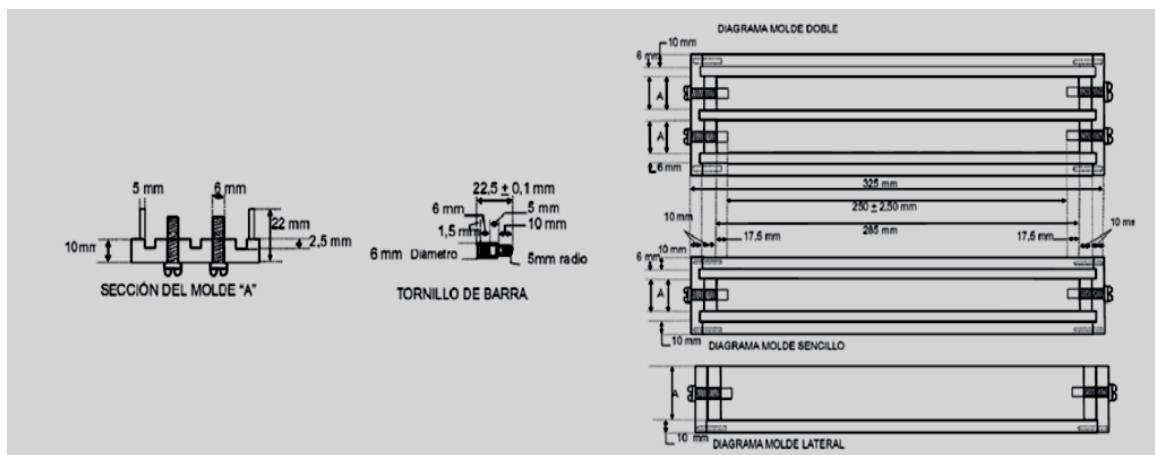
<b>Tamaño de Tamiz</b>		
<b>Pasa</b>	<b>Retenido en</b>	<b>Masa,%</b>
4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No.8)	10
2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	25
1,18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No.50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	15

Fuente: Composición granulométrica, Norma ASTM C227.

- Equipo
  - Moldes

Los moldes proporcionan especímenes de sección cuadrada por lado y una longitud efectiva. La longitud efectiva debe considerarse como la distancia entre las caras internas de las piezas de metal (índices en forma de tornillo), que se insertan para usarse como puntos de referencia. Las partes que forman los moldes deben sujetarse muy bien y firmemente unas con otras al ser armados, las dimensiones de los moldes se muestran en la figura 10.

Figura 10. **Moldes dimensiones sistema internacional**



Fuente: IMCYC, *El concreto en la obra, problemas y soluciones*, mayo 2014 boletín 81, p. 3.

Los moldes deben de ser de acero o de un metal lo suficientemente rígidos para evitar deformaciones. Los tornillos de referencia deben penetrar y coincidir con el eje principal de la probeta.



- Comparador de longitud

Los cambios que la barra presente en su longitud deben medirse con un comparador de carátula analógico, digital o con un micrómetro. Este debe estar de acuerdo con la Norma ASTM C 490. La frecuencia de revisión de la barra de referencia debe realizarse al principio y al final de las mediciones.

Figura 11. **Comparador de longitud con indicador digital de 10", 120V 60Hz, H-3250D**



Fuente: HUMBOLDT, *Testing Equipment for Construction Materials*, p. 4.

Los comparadores miden las variaciones de longitud de la barra de mortero. El indicador va montado en un soporte vertical firme que a su vez va pegado a una base triangular sólida. Son utilizados para muestras de 10 pulgadas (254 mm), poseen un indicador digital de rango 0,600 pulgadas y resolución de 0,0001 pulgadas. Mide en pulgadas y milímetros. Puede cambiarse de unidad solo pulsando un botón, incluye baterías y un adaptador de CA.

- Barra de referencia

Se usa en el comparador para corregir los cambios ocurridos en el comparador de longitud y dispositivo de medida, que puedan afectar las lecturas. Esta debe tener una longitud total de  $295 \pm 3,0$  mm o de  $170 \pm 3,0$  mm ( $11\frac{5}{8} \pm \frac{1}{8}$  pulgada o  $6\frac{5}{8} \pm \frac{1}{8}$  pulgada), la que sea apropiada para el espécimen que se está usando.

Uso de la barra de referencia. Para cada lectura de referencia tomada, colocar la barra de referencia en el comparador con la marca de posición en la misma orientación. Con la barra en el comparador, rotarla despacio por lo menos una revolución, mientras la lectura se está tomando. Registrar la lectura mínima (más baja).

- Tamices

Los tamices de tejido de alambre de acero con aberturas cuadradas, deben cumplir con los requisitos de la Norma ASTM E 11.

- La mezcladora, paleta y el recipiente de mezclado

Deben cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 305, en la práctica para mezclas de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica. Mezcla y airea, en forma homogénea, todos los ingredientes para obtener mezclas finales consistentes y predecibles.

Figura 12. **Mezclador de 5-Qt. (4,74 l), 120V 60Hz—H-3841**



<b>Componentes del mezclador</b>	<b>Modelo</b>
Mezclador de 5-Qt. (4.74 l), 120V 60Hz	H-3841
Batidor de acero inoxidable del tipo plano	H-3841.1
Bol de acero inoxidable de 5-cuartos de galón	H-3841.2
Adaptador de posicionamiento del bol	H-3844

Fuente: HUMBOLDT, *Testing Equipment for Construction Materials*, p. 3.

El mezclador incluye un adaptador de posicionamiento del bol, un bol de acero inoxidable de cinco cuartos de galón (4,73 litros) y un batidor plano de acero para mezclar materiales pesados.

- Recipientes de almacenaje de las barras

Los recipientes deben ser hechos de un material que resista una prolongada exposición a 80 °C (176 grados Fahrenheit), resistentes e inertes a la solución de NaOH, la cual es capaz de corroer recipientes de metal y de vidrio. Debe utilizarse tapaderas para prevenir la pérdida o ganancia de humedad. Para que la solución tenga acceso a la superficie completa de las

barras, estas no deben tener contacto entre ellas o con las paredes del recipiente. Si las barras son colocadas verticalmente en la solución, no deben apoyarse en los tornillos de metal de sus extremos.

- Baño de temperatura constante

Un horno de convección o un baño de agua provisto de un control de temperatura que mantenga la temperatura a  $80,0 \pm 2,0$  °C ( $176 \pm 3,6$  Fahrenheit).

- Mesas de Flujo

Se usan para determinar el flujo de cemento hidráulico, morteros y pastas de cemento. Se moldea una muestra de ensayo en la mesa a un volumen y forma determinada. Después de haber sacado el molde, la mesa se baja y se sube (con una manivela manual o motor opcional), se realiza un número determinado de 25 ciclos en 15 segundos, después de lo cual se mide la fluidez (o el aumento del diámetro promedio).

Figura 13. **Mesas de Flujo**



Fuente: HUMBOLDT, *Testing Testing Equipment for Construction Materials*, p. 10.

<b>Componentes Mesa de flujo</b>	<b>Modelo</b>
Mesa de flujo	H-3620
Molde de flujo	H-3622
Regla de acero	H-4144.8
Calibrador de espesor (pie de metro)	H-3621
Pisón de compuesto de goma	H-2860

Fuente: HUMBOLDT, *Testing Testing Equipment for Construction Materials*, p. 10.

### **3.4. Caracterización de morteros**

Los morteros, tanto en estado plástico como endurecido, poseen una serie de características que indican en qué pueden ser implementados de manera que sean funcionales con las unidades de mampostería con las que van a ser sometidas en diferentes aplicaciones. Estas características son: consistencia, plasticidad, capacidad de retención de agua, adherencia, retracción y trabajabilidad.

#### **3.4.1. Tipos**

Los tipos de mortero se establecen de acuerdo al aglomerante que lo constituya y el uso que se le vaya a dar. Dentro de los morteros se pueden considerar dos grandes clasificaciones:

- Aéreos, que endurecen, bajo influencia del aire, al perder agua; y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Hidráulicos, que endurecen bajo el efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen de la calcinación de calizas.

#### **3.4.1.1. Mortero de cemento hidráulico**

Son morteros de gran trabajabilidad, con buena retención de agua y altas resistencias iniciales. La fabricación ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra, haya el menor tiempo posible, debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y el agregado, luego se añade el agua. Se consideran adecuados para soportar cargas a compresión y sirven de relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos como columnas y vigas.

#### **3.4.1.2. Mortero de cal**

Por sus propiedades es un plastificante y ligador que fragua o endurece al ser expuesto al aire. Es el mortero más manejable de los conocidos, pero no posee altas resistencias iniciales, esto por su baja velocidad de endurecimiento.

#### **3.4.1.3. Mortero de cal y chamota**

Son los que asocian a la cal, propiedades hidráulicas, a través de la actividad puzolana derivada de utilizar polvo de arcilla de ladrillos, dando lugar a compuestos insolubles y estables.

### **3.5. Análisis de dos variables**

El análisis se realiza para las variables que son: cal y chamota. Con lo que se elaboraron barras con morteros que contienen dichos materiales en diferentes proporciones, indicando los análisis encontrados para cada mezcla. En el análisis se determina lo siguiente:

- Cambio de longitud

Consiste en el aumento o disminución de la dimensión lineal de un espécimen, medido a lo largo de su eje longitudinal, debido a causas distintas que sufre la barra al ser sumergida en agua y en la solución de hidróxido de sodio (NaOH).

- Cálculo del cambio de longitud

Se calculan los cambios de longitud para cada espécimen al más cercano 0,001 % y se informan los promedios al más cercano 0.01 %. La fórmula se detalla de la siguiente manera:

$$L = \frac{L2 - L1}{G} * 100$$

L = cambio de longitud a una edad x, %

L1 = lectura de comparador inicial del espécimen, menos la lectura de la barra de referencia al mismo tiempo; en milímetros o en pulgadas.

L2 = lectura de comparador del espécimen a una edad x menos la lectura de la barra de referencia a la edad x; en milímetros o en pulgadas.

G = longitud de base que es de 250 milímetros o de 10 pulgadas.

### 3.5.1. Interinfluencia cal-cemento

Para medir los flujos del mortero conforme a la relación cal y cemento, se ha utilizado la siguiente proporción:

Tabla VII. **Interinfluencia cal-cemento**

	<b>Cemento</b>	<b>Cal</b>	<b>Arena</b>	<b>Agua</b>
Proporción modelo	1	1	2,25	0,47

Fuente: Datos experimentales.

### 3.5.2. Interinfluencia cal-chamota

Se realiza la prueba de tres diferentes tipos de proporciones, variando los porcentajes que representa la chamota con los conglomerantes del mortero.

Tabla VIII. **Interinfluencia cal-chamota**

<b>Proporción a experimentar</b>	<b>Cemento</b>	<b>Cal</b>	<b>Arena</b>	<b>Chamota</b>	<b>Agua</b>
Chamota en 25 % de la Arena	1	1	2,25	0,56	0,47
Chamota en 20 % de la Arena	1	1	2,25	0,45	1,05
Cambio de chamota por cemento	1	2,22	5	2,22	2,68

Fuente: Datos experimentales.

### 3.5.3. Interinfluencia chamota-agua

Se observa que respecto a lo normado en cuanto a requerimiento de agua, es necesario aumentar agua en la proporción, debido a que el polvo de arcilla aumenta el fraguado del mortero.



## **4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS**

### **4.1. Resultados obtenidos en laboratorio**

Resultado de la prueba de reacción álcali-agregado en barras de mortero, indica la cantidad de expansión esperada o tolerada del mortero. Por lo que es necesaria la evaluación de los especímenes y la interpretación de los resultados de los ensayos realizados.

Cuando se interpreta la expansión de los especímenes de laboratorio, se deben considerar no sólo los valores de expansión a edades específicas, sino también la forma de la expansión, que puede indicar si se está estabilizando o si continúa a una velocidad constante o acelerada, además puede presentar contracción que también determina estabilidad de acuerdo a la cantidad de material que se coloque.

La Norma ASTM C227, indica que mientras la relación de demarcación entre las combinaciones inocuas y las potencialmente perjudiciales no esté claramente definida, se considera en general que la expansión es excesiva si excede el 0,05 % en 3 meses o el 0,10 % en 6 meses.

#### **4.1.1. Morteros de cemento y cal**

Se elaboran barras de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento; se toma en cuenta que cada adición de cal, incrementa la cantidad de agua de mezclado

necesaria para lograr las condiciones deseadas. Los resultados muestran leve expansión del mortero.

Tabla IX. **Proporción modelo**

Barra	Lectura	
	L1	L2
1	7,5470	8,8400
2	10,8400	11,9680
3	8,5600	9,7660
Promedio	8,9823	10,1913

Mezcla	L1	L2	L2-L1	% Expansión
1	8,9823	10,1913	1,2090	0,4836

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

#### 4.1.2. **Morteros de cal y chamota**

A las propiedades hidráulicas que posee la cal se le agregan las propiedades plásticas y mecánicas que aporta la chamota en las barras ensayadas, por lo que es necesario considerar una proporción de cemento que aporte una resistencia deseada y se agrega agua según lo requiera el fraguado de la mezcla.

Se implementa la chamota como porcentaje de la arena, variando este valor para observar proporciones que sean óptimas y deseadas en la mezcla. También se considera la chamota en lugar del cemento como proporción para verificar si las condiciones mecánicas no aportan una expansión excesiva.

Tabla X. **Proporción chamota al 25 %**

<b>Barra</b>	<b>Lectura</b>	
	<b>L1</b>	<b>L2</b>
1	0,9230	0,8100
2	1,3850	1,3200
3	1,9940	1,7660
Promedio	1,4340	1,2987

<b>Mezcla</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L2-L1</b>	<b>% Contracción</b>
2	1,4340	1,2987	-0,1353	-0,0541

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

Tabla XI. **Proporción chamota al 20 %**

<b>Barra</b>	<b>Lectura</b>	
	<b>L1</b>	<b>L2</b>
1	5,6500	6,5800
2	4,5680	5,4660
3	9,1600	10,0800
Promedio	6,4593	7,3753

<b>Mezcla</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L2-L1</b>	<b>% Expansión</b>
3	6,4593	7,3753	0,9160	0,3664

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

Tabla XII. **Proporción chamota por cemento**

Barra	Lectura	
	L1	L2
1	2,0560	3,0340
2	4,0800	5,0900
3	8,2000	9,2480
Promedio	4,7787	5,7907

Mezcla	L1	L2	L2-L1	% Expansión
4	4,7787	5,7907	1,012	0,4048

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

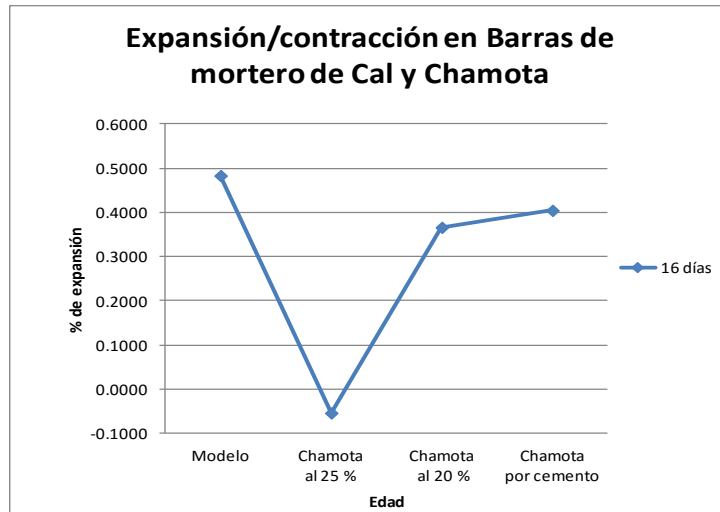
Tabla XIII. **Resumen de resultados barras de mortero**

Días	Modelo	Expansión/contracción (mm)		
		Chamota al 25%	Chamota al 20%	Chamota por cemento
16	0,4836	-0,0541	0,3664	0,4048

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

A 16 días el valor mayor de expansión de mortero que contiene chamota es de 0,4048, para la proporción chamota por cemento, este es mayor a 0,20 % que especifica la norma. En la proporción de chamota al 25 % el resultado es contracción de 0,0541 por lo que se considera que es inocuo, que no reacciona con los otros materiales con los que se le relaciona, siendo aceptable.

Figura 14. Gráfica de resultados barras de mortero



Fuente: Resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

#### 4.2. Resultado en análisis de agregados

En la elaboración de los morteros se ha utilizado chamota, y en la obtención del polvo de ladrillo se ha procedido, primero con cuarteo manual, luego a tamizarlo mediante una serie normalizada de tamices, logrando, de esta manera, analizar los diferentes tipos de agregados que lo conforman.

Tabla XIV. Ensayo de gravedad específica AASHTO T-100, ASTM D-854

Muestra	Gravedad Específica	Descripción del suelo
1	2,54	Arena limosa fina color café rojizo (polvo de ladrillo)

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 0481.

Al revisar el resultado en la tabla IV, los valores promedios, se tiene que el material se encuentra dentro de las rocas sedimentarias del tipo arenisca o chert, que son tipos de arena, por lo cual las propiedades del material necesitan de más aglomerantes para lograr una buena consistencia y adherencia. Estos resultados muestran una absorción promedio entre 1,6 % y 1,8 %.

#### **4.3. Resultado en análisis de las propiedades del mortero**

Se analizan las propiedades del mortero en estado fresco, entendiéndose como lo que la hace trabajable por su estado plástico, bajo la acción de pequeños esfuerzos, determinando las condiciones del mortero y se analizan las propiedades en estado sólido cuando tiene la edad adecuada para adquirir resistencia mecánica a cargas aplicadas.

- Ensayo físico de hidraulicidad de la cal:

Se obtiene una fluidez inicial de 103. Luego de aplicar el procedimiento de succión de agua, se tiene una fluidez de 89 % con retención de agua de 86,40 %.

$$W_R = \left( \frac{89}{103} \right) \times 100$$

$$W_R = 86,40$$

Como resultado de la disminución del agua, se obtiene una menor fluidez, lo cual si se agrega arcilla a la mezcla con la cal, se tiene una contracción por la reacción de los materiales; por lo que es necesario el incremento de agua en la mezcla.

- Límites de Atterberg

Tabla XV. **Ensayo de Límites de Atterberg**

Muestra	LL (%)	I.P. (%)	CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
1	0	0	SM	Arena limosa fina color café rojizo, (polvo de ladrillo).

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 0482.

Las propiedades de un material clasificado como: SM indican que es una arena limosa, mezclas de arena y limo mal graduadas; que se encuentra entre un rango de semipermeable a impermeable, pero que muestra buena resistencia a corte en estado compacto, con excelente saturado y de regular facilidad de tratamiento en obra.

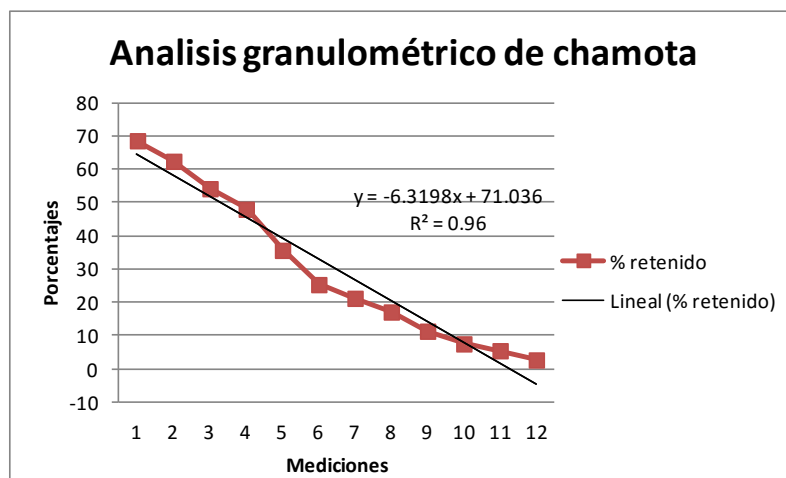
Tabla XVI. **Resultados análisis granulométrico Método del Hidrómetro**

D (mm)	% más fino
0,0435054	68,6
0,0314735	62,42
0,0264889	54,18
0,0234171	48
0,0171488	35,64
0,0125296	25,34
0,0092465	21,22
0,0066055	17,1
0,0045074	11,33
0,0028482	7,52
0,0016549	5,46
0,0014168	2,68

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 0480.

Los resultados se miden por una curva de distribución granulométrica, la cual indica que cuando más del 12 % del material pasa a través del tamiz número 200, no se utiliza como criterio dentro de ningún sistema de clasificación de suelos y no existe ningún tipo de conducta particular del material que dependa intrínsecamente de la forma de dicha curva. La conducta depende principalmente del tipo y porcentaje de arcilla en el material, de su historia geológica y del contenido de humedad, más que de la distribución misma de los tamaños de partícula.

Figura 15. **Gráfica análisis granulométrico de chamota**



Fuente: resultado de granulometría de chamota. 2016.

En la figura 15 se muestra una curva de flujo con una recta de pendiente negativa de -6,3198, esta indica los valores de humedad que son inversamente proporcionales. Este se genera cuando el material cambia de un estado semilíquido a un estado plástico, permitiéndose una fácil maleabilidad.



Tabla XVII. **Trabajabilidad, retención de agua y masa unitaria del mortero**

Trabajabilidad (con relación cal/arena de 0,3) (%)	89,0
Retención de agua (% en volumen)	86,4
Masa unitaria (g/cm <sup>3</sup> )	0,5

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. S.C. -371.

- Resistencia a compresión:

Tabla XVIII. **Resistencia a compresión en cubos**

Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	Resistencia a compresión (f'c) (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar $\sigma$ (kg)	Coefficiente de variación V (%)
1	28 días	1984,85	76,58	80,17	4,04
2		1318,18	51,13	120,26	9,12

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 507-M.

- Prismas a compresión:

Tabla XIX. **Carga última y resistencia a compresión para mezcla 1 y 2**

Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	Resistencia a compresión (f'c) (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar $\sigma$ (kg)	Coefficiente de variación V (%)
1	28 días	9 545,45	21,65	250,00	1,18
2		9 772,73	21,36	250,00	1,92

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 507-M.

- Prismas a corte:

Tabla XX. **Carga última a corte mezcla 1 y 2**

Mezcla	Edad (días)	Carga (kg)	Área (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo a corte (Ss) (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar $\sigma$ (kg)	Coefficiente de variación V (%)
1	28 días	4 000,00	1307,06	3,06	200,0	5,26
2		3 600,00	1301,85	2,77	163,3	4,30

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 507-M.

- Prismas adherencia:

Tabla XXI. **Carga última y resistencia a compresión para mezcla 1 y 2**

<b>Mezcla</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Presión manómetro (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga lateral (kg)</b>
1	28 días	1 500,00	1 400,00
2		2 150,00	2 100,00

Fuente: resultado obtenido en ensayos de laboratorio. Ver en anexo informe No. 507-M.



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS

### 5.1. Comparación de los resultados experimentales y los teóricos, según normas para morteros

La comparación en la mezcla de los sistemas de mortero involucra la preparación de una o más amasadas de prueba que son mezcladas en laboratorio, usando mezcladoras mecánicas.

Los resultados de ensayo obtenidos, deben cumplir con los valores de resistencia a la compresión indicados para la especificación de la Norma NTG 41050 (ASTM C270).

Se observa según rango permisible de expansión, por los resultados obtenidos de los ensayos, que no se tiene un valor permitido dentro de los rangos de expansión que indica la Norma ASTM C227, que considera la expansión excesiva si excede el 0,20 % a 16 días. Pero que si arroja un valor permisible en cuanto a la contracción, resultante de colocar chamota al 25 %, como lo muestra la tabla XXII.

Tabla XXII. **Resultados óptimos de expansión de mortero cal y chamota**

Contracción (%)	
Días	Chamota al 25 %
16	-0,0541

Fuente: resultados obtenidos en laboratorio. Ver anexo.

Tabla XXIII. **Rango máximo permisible de cambio de longitud**

<b>Número de especímenes</b>	<b>Cementos adicionados</b>	<b>Cemento Portland</b>
3	0,034	0,010
4	0,037	0,011
5	0,039	0,012
6	0,041	0,012

Fuente: Norma NTG 41058 (ASTM C490).

## **5.2. Análisis de agregados**

En el resultado de la gravedad específica se tiene clasificado SM el agregado, lo que establece que son rocas sedimentarias del tipo arenisca o chert según la tabla IV. El que el material sea de tipo arena, hace que se requiera una mayor necesidad de aglomerantes del tipo cal y cemento para darle suficiente consistencia al mortero, ya que una mayor proporción de arena no representa la consistencia necesaria para que la mezcla se consolide.

En cuanto a la evaluación del flujo, indica una fluidez inicial de 103 y cuando se ha retirado o succionado el agua, esta se ha reducido a 89 %, lo que muestra cierta consistencia derivado de la composición de la arcilla, que da lugar a cambiar de un estado líquido a plástico, lo cual beneficia la maleabilidad y trabajabilidad del mortero.

## **5.3. Análisis de las propiedades del mortero**

Se realizan los ensayos con las barras de mortero para determinar la expansión a la que es objeto el mortero al exponerse a condiciones climáticas húmedas como las lluvias y en casos de manera abundante. Por lo que se ha

procedido a mantener sumergidas en agua con hidróxido de sodio (NaOH) las barras de mortero, con el fin de simular dichas condiciones reales. De dichos ensayos se obtiene que la expansión no es excesiva y que se mantiene según especificaciones de la Norma ASTM C227, dentro de los rangos permisibles, como se detalla en la tabla XIII.

Por lo que se observa que las propiedades de la arcilla no reaccionan de manera nociva y muestran consistencia y resistencia en la mezcla de cal y cemento.

#### **5.4. Comparación de mortero de cal y cemento, con el mortero de cal y chamota**

En la elaboración de morteros de cal y cemento, se obtiene una consistencia y resistencia deseadas según normas establecidas como la NGT 41050 (ASTM C270), la cual suele utilizarse normalmente para elaboraciones de muros de mampostería. Si se aplica las mismas especificaciones que indica la norma, en la elaboración de morteros de cal y chamota, se obtienen resultados con menor resistencia, una mayor fluidez y una expansión no excesiva, que sí cumplen con los requerimientos de norma.

Por lo que la comparación indica resultados no iguales, pero que sí muestra valores permitidos, según se requiere en las normas para morteros hidráulicos en las construcciones.

Tabla XXIV. **Comparación de morteros**

<b>Días</b>	<b>Expansión/contracción (%)</b>	
	<b>Cal y cemento</b>	<b>Cal y chamota</b>
16	0,4836	-0,0541

Fuente: resultados obtenidos en ensayos. Ver anexos.

Como se observa en la tabla XXIV los resultados muestran a los 16 días una contracción aceptable al implementar la chamota en el mortero, acordes a las especificación de las Norma NTG 41051 h1 (ASTM C 780), referente a la consistencia y el tiempo de trabajabilidad.

### 5.5. **Análisis de costos**

Los valores de los costos se estiman utilizando las medidas obtenidas en los ensayos de los prismas. Se hace uso de bloques de concreto de grado N, tipo I, conforme a la Norma NTG 41055 h1 (ASTM C-90), (resistencia 35 kg/cm<sup>2</sup>), de 14,63 cm, 20,5 cm y 39,13 cm, valores promedio de datos recabados.

Tabla XXV. **Dimensiones de los Bloques utilizados en los prismas**

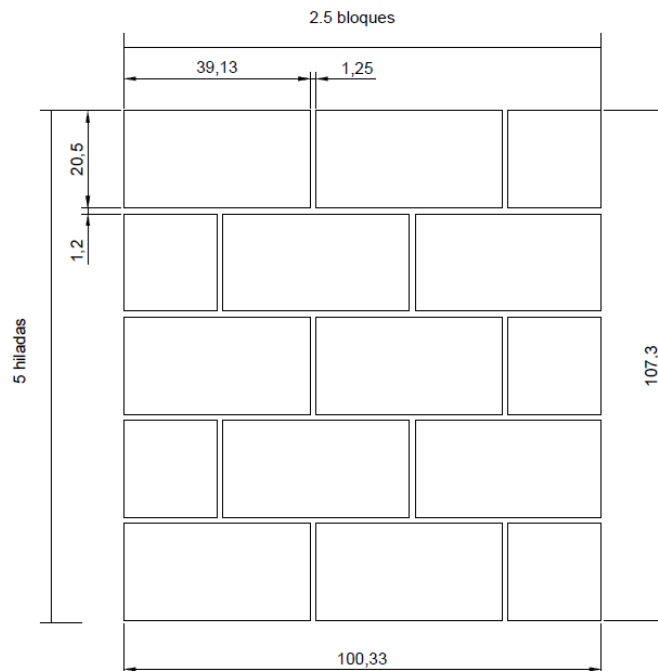
<b>Dimensiones obtenidas del Bloque</b>			<b>Peso Unitario</b>
<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	
20,5 cm	39,13 cm	14,63 cm	10 kg

Fuente: datos medidos en ensayos. Ver informe No. 507-M.



La sisa se considera entre valores de 1 cm y 1,5 cm, por lo que se usará 1,25 cm como dato intermedio.

Figura 16. **Metro cuadrado de muro de Bloques con mortero de cal y chamota**



Fuente: elaboración propia.

De la figura 16 se puede observar que en un metro cuadrado aproximadamente se tiene 12,5 bloques con mortero.

- Ecuación:

$$\text{Mortero a utilizar} = (a+b)(c)(\text{espesor de sisa}) * (\text{No. de bloques})$$

$$\text{Mortero a utilizar} = (0,205+0,3913)(0,1463)(0,0125) * (12,5)$$

$$\text{Mortero a utilizar} = 0,01363105 \text{ metros cúbicos}$$

El mortero a usar es 0,01363105 (metros cúbicos de mortero/por metro cuadrado de pared).

- Costo de mortero en obra

Para el cálculo solo se considera el costo generado por el mortero y los agregados que los conforman. En el caso de la chamota, se obtiene como desperdicio, que si bien no posee un costo por denominación, sí incurre en costo por el proceso de pulverización y traslado del material.

Tabla XXVI. **Resultados de costos en mortero de cal y chamota**

<b>Costo mortero en obra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Total</b>
Cemento	kg	0,0022	1 840,00	4,0602
Cal	kg	0,0022	1 515,14	3,3434
Chamota	kg	0,0010	0	0
Pulverización de la chamota	kg	0,0010	2 400,00	2,3832
Transporte de material	qq/Km	0,0054	4 000,00	21,6250
Agua	m3	0,0033	180,24	0,5875
Arena	m3	0,0050	1 441,88	7,1589
Desperdicio	%	15	1 706,59	3,4894
IVA	%	12	1 365,27	2,2332
			<b>Total P/M3</b>	<b>44,881</b>

Fuente: elaboración propia.

El Índice relativo se obtiene del Informe de precios de materiales del Instituto Nacional de Estadística (INE), publicado el 29 de junio 2016.

## CONCLUSIONES

1. De las características físicas que proporciona la cal con el óxido de calcio y la chamota que aporta silicatos de aluminio hidratados, se logra una mayor plasticidad a la mezcla del mortero, reduciendo el contenido hídrico, por lo que es necesario considerar la demanda de mayores cantidades de agua a las mezclas.
2. Las propiedades mecánicas de la chamota radican en sus características físicas y químicas, como lo son el tamaño de la partícula que es inferior a  $2\ \mu\text{m}$ , que posee morfología laminar y las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas de la arcilla, lo que provee de un elevado valor de área superficial que pueden interaccionar con diversas sustancias, como la cal con la cual se obtiene mayor plasticidad que al endurecer provee de una alta resistencia ante cargas aplicadas en la mezcla.
3. La expansión resultado de implementar chamota en el mortero, determina un resultado mínimo de 0,3664 que está por encima del 0,20 % permitido según la norma, pero se muestra una contracción de 0,0541 aceptable porque se encuentra por debajo del porcentaje de 0,20 % permitido cuando la proporción de la chamota sustituye en 25 % el contenido del aglomerante.
4. De acuerdo a la plasticidad que proporciona la cal en la chamota, se logra una dosificación del prisma a 28 días, que presenta una alta resistencia, soportando cargas de 9772,73 kg a compresión y de 4000,00

kg a corte, que se asemejan a resultados con morteros ordinarios aplicados en bloques de mampostería.

5. Con base a los resultados obtenidos, utilizando proporciones según lo establece la norma para morteros, se obtiene que al implementar la chamota como material en la mezcla, se obtienen resultados de plasticidad y trabajabilidad adecuados en la elaboración y que con el aporte de la cal y el cemento al dosificarse, proporcionan una alta resistencia en el mortero ante cargas que le sean aplicadas en una obra nueva o en restauración.

## RECOMENDACIONES

1. Para la obtención de las características físicas y propiedades mecánicas adecuadas en los morteros de cal, cemento y chamota, deben cumplirse las normas que establecen los ensayos específicos de granulometría de los agregados con lo que se puede tener mejores resultados de plasticidad y dureza.
2. Para la determinación de la expansión, debe hacerse uso del equipo adecuado de laboratorio, y procurar que se mantengan sin alteraciones los especímenes o barras de mortero en el tiempo de fraguado y endurecimiento bajo condiciones en que se ensayan, procurando que agentes externos como el ambiente o la temperatura, produzcan alteraciones físicas.
3. En la elaboración de los prismas, debe de aplicarse humedad consistente en los bloques de mampostería en el momento que se están uniendo con el mortero en evaluación. Los prismas deben aislarse y protegerse de agentes físicos externos que puedan alterar su constitución física o que puedan alterar su humedad.
4. Los resultados obtenidos en el mortero de cal y chamota utilizando proporciones para morteros ordinarios de cemento, determinan resultados, en los cuales no se logra la mejor consistencia, por lo que es adecuado el implemento del cemento para lograr una dosificación más resistente en la mezcla o que se utilicen aditivos que aporten a mejores características finales de la mezcla.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALVAREZ CRUZ, David Estuardo. *Evaluación de Bloques Huecos de mampostería fabricados con cemento mezclados con escoria de hornos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 87 p.
2. DE LA SOTTA MONREAL, Juan Pablo. *Análisis comparativo entre mortero de junta para albañilería fabricado en obra y mortero premezclado húmedo para albañilería*. Trabajo de graduación de Ing. Constructor. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2010. 29 p.
3. GÁLVEZ BARRERA, Hugo Alejandro. *Evaluación del Comportamiento de la piedra caliza con diferente contenido de carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ) a través del proceso de calcinación a 850 C y 640 mm Hg en la obtención de cal mediante la determinación de la densidad aparente (ASTM 188-95)*, Trabajo de graduación de Ing. Químico. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 14 p.
4. GÓMEZ CON, Sergio Gabriel. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*, Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 29 p.

5. GONZÁLEZ CORTINA, Mariano. *Recuperación de Morteros Romanos de Cal y Chamota en Aplicaciones actuales*, Tesis Doctoral Arquitecto. Universidad Politécnica de Madrid España, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, 2000. 146 p.
  
6. SABA MEDRANO, Carlos Estuardo. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades Físico-mecánica de tres tipos de mortero de albañilería*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 5 p.



# ANEXOS



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



---

**RETENCION DE AGUA EN CAL HIDRATADA  
NORMA ASTM C-110**

INFORME No. S.C. - 371  
HOJA 1/1

**No. 5843**

---

O.T. No. 34743

**INTERESADO:** Carlos Eduardo Okrassa Morales, Carné No. 2005-16123

**PROYECTO:** Tesis "Implementacion de morteros hidraulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauracion"

**DIRECCION:** 3a. Av. 8-64, Residenciales Atlantida zona 18

**FECHA:** 18 de Junio de 2015

---

**RESULTADOS:**

- Según la norma ASTM C-110, se especifica la fluidez en un rango de 100 a 115%, utilizando la proporción de material de: 1500 g. de arena estándar y 500 g. de cal, con una dosificación de 680 ml. de agua, la cual es requerida por la proporción según los materiales secos, obteniendo una fluidez inicial de **103%**.
- Luego de el procedimiento de succión de agua, se obtiene una fluidez final de 89%, con retención de agua de 86,40%.



Preparacion de mezcla

Procedimiento de succión de agua.

Fluidez final.

**OBSERVACION:**

a) Muestra de cal proporcionada por el interesado.



**ATENTAMENTE,**

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

Vo.Bo.



Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



SECCION DE AGREGADOS,  
CONCRETOS Y MORTEROS  
CII / USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC –  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



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



INFORME No.: 0480 S.S.

O.T. No. 34,742

**No. 4673**

Interesado: Carlos Eduardo Ockrassa Morales Carné No: 2005-16123.

Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo

Norma: ASTM D-422, AASHTO T-88.

Proyecto: Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

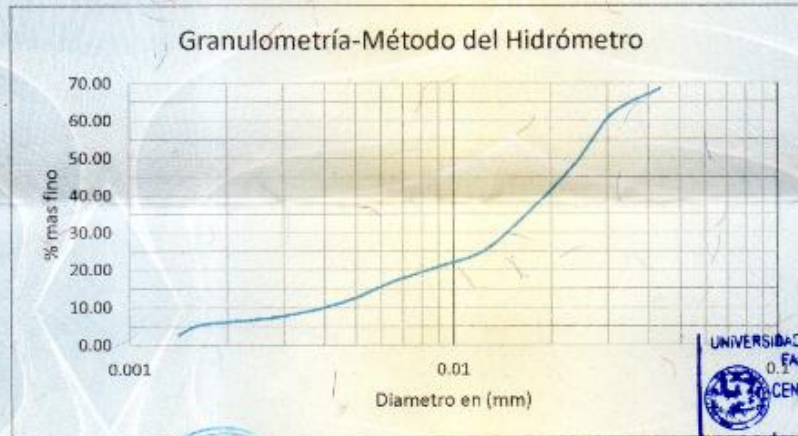
Ubicación: 3a. Av. B-64 Residenciales Atlántida Zona 18.

Fecha: 16 de Septiembre de 2015.

Descripción del material: Arena limosa fina color café rojizo. (polvo de ladrillo).

D (mm)	% mas fino
0.04350544	68.60
0.03147354	62.42
0.02648893	54.18
0.02341707	48.00
0.01714875	35.64
0.01252956	25.34
0.00924645	21.22
0.00660552	17.10
0.00450735	11.33
0.00284824	7.52
0.00165494	5.46
0.00141678	2.68

Gs	2.54
a	1.03
Correccion cero	1.00
Corrección de menisco	1.00
Peso del material (g)	50



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CII/USAC

*Omar Enrique Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



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



**No. 4671**

INFORME No. 0482 S.S.

O.T.: 34,742

Interesado: Carlos Eduardo Ockrassa Morales Camé No: 2005-16123.

Proyecto: Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: 3a. Av. 8-64 Residenciales Atlántida Zona 18.

FECHA: 16 de Septiembre de 2015.

**RESULTADOS:**

ENSAYO No.	MUESTRA No.	LL (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	0.0	0.0	SM	Arena limosa fina color café rojizo. (polvo de ladrillo).

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Teima Maricela Cano Morales  
DIRECTORA CIUSAC



*Omar E. Medrano Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



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



**No. 4670**

INFORME No. 0481 S.S.

O.T.: 34,742

Interesado: Carlos Eduardo Ockrassa Morales Carné No: 2005-16123.

Proyecto: Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

Asunto: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA.

Norma: AASHTO T-100, ASTM D-854.

Ubicación: 3a. Av. 8-64 Residenciales Atlántida Zona 18.

FECHA: 16 de Septiembre de 2015.

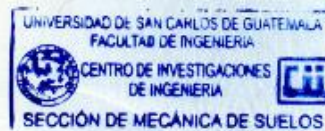
**RESULTADOS:**

Muestra No.	Muestra:	Gravedad Especifica	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	2.54	Arena limosa fina color café rojizo. (polvo de ladrillo).

(\*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra tomada por el interesado.

Atentamente,



Vo. Bo.

Inga. Telma Maicela Cano Morales  
DIRECTORA CIVUSAC



*Omar E. Medina Méndez*  
Ing. Omar Enrique Medina Méndez  
Jefe Sección Mecánica de Suelos



INTERESADO: CARLOS EDUARDO OCKRASSA MORALES CARNE No. 200516123  
PROYECTO: TESIS "IMPLEMENTACION DE MORTEROS HIDRAULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACION".  
FECHA: GUATEMALA, 28 DE OCTUBRE DE 2015.

#### Antecedentes

El estudiante **CARLOS EDUARDO OCKRASSA MORALES** de la carrera de Ingeniería Civil solicito a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realizara, ensayo a 09 prismas a compresión, corte y adherencia. Los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "IMPLEMENTACION DE MORTEROS HIDRAULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA NUEVA Y RESTAURACION".

#### Resultados



Compresión	TIPO DE MORTERO	Carga Ultima		Esfuerzo último	
			(kg)		(kg/cm2) área neta
		1	9,545.45		30.03996498
		2	9,772.73		29.25252745

Corte	TIPO DE MORTERO	Carga Ultima		Esfuerzo último	
			(kg)		(kg/cm2) área neta
		1	1,818.18		2.762027946
		2	1,635.36		2.458529255

Adherencia	TIPO DE MORTERO	Carga Ultima		Esfuerzo último	
			(kg)		(kg/cm2) área neta
		1	636.36		3.90
		2	909.09		5.46



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



O.T. No.34958

**INFORME No. 507-M**

INTERESADO: CARLOS EDUARDO OCKRASSA MORALES CARNE No. 200516123  
PROYECTO: TESIS "IMPLEMENTACION DE MORTEROS HIDRULICOS DE CAL Y CHAMOTA DE AGARRE EN OBRA"

**Prismas**

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb		
					b x l	h1				
Compresión	1	1	61.50	39.1	14.6	570.86	127.20	315.97	Inicial	6500
	2	1	61.50	39.2	14.6	572.32	127.20	127.70	Falla	10000
		3	61.50	39.1	14.7	574.77	127.20	127.70	Última	21000
Promedio			61.50	39.13	14.63	572.65	127.20	127.70		317.76

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb			
					b x l	h1					
Corte	2	1	61.10	61.6	15	916.5	128.02	127.52	660.96	Última	4000
		2	61.10	61.5	14.9	910.39	128.02	127.52	654.85		
		3	61.20	61.5	14.9	911.88	128.02	127.52	656.34		
		4	61.20	61.5	15	916.5	128.02	127.52	660.96		
Promedio			61.13	61.53	14.95	913.81875	128.02	127.52	658.28		

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb			
					b x l	h1					
Adherencia	3	1	61.30	39.1	14.8	148.00	66.5	66.5	163	Inicial	500
		2	61.20	39.1	14.8	148.00	66.5	66.5	163	Falla	1200
		3	61.20	39.2	14.8	148.00	66.5	66.5	163	Última	1400
Promedio			61.20	39.13	14.80	148.00	66.5	66.5	163		

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb			
					b x l	h1					
Compresión	1	1	61.30	39.9	14.7	886.53	127.89	128.06	330.58	Inicial	15000
		2	61.20	39.9	14.8	590.52	127.89	128.06	334.57	Falla	21000
		3	61.20	39.8	14.9	593.02	127.89	128.06	337.07	Última	21500
Promedio			61.23	39.87	14.80	590.03	127.89	128.06	334.08		

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb			
					b x l	h1					
Corte	2	1	61.30	61.3	15	919.5	126.97	127.70	664.84	Última	3600
		2	61.30	61.4	15	919.5	126.97	127.70	664.84		
		3	61.40	61.4	15	921	126.97	127.70	666.34		
Promedio			61.35	61.40	15.00	920.25	126.97	127.70	665.59		

Prismas	Medidas	h	b	l	Área Bruta		Área Neta	Fuerza Aplicada = lb			
					b x l	h1					
Adherencia	3	1	62.00	39.3	15	150.00	66.2652	66.43	167.3048	Inicial	1350
		2	62.00	39.3	15	150.00	66.2652	66.43	167.3048	Falla	1500
		3	62.00	39.2	14.9	149.00	66.2652	66.43	165.3048	Última	2000
Promedio			62.00	39.27	14.97	149.67	66.2652	66.43	166.6381389		

Atentamente,

Pablo Christian De León Rodríguez  
Sección Metales y Productos Manufacturados  
/cbr  
**C.I.I./USAC**

Vo.Bo. Ing. Telma Maricela Cano Morales  
Directora C.I.I.



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



**INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA  
DE MORTERO COGUANOR NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)**

**No. 00392**

HOJA 1/1

O.T. No. 34744

SACM - 487

**INTERESADO:**

Carlos Eduardo Ockrassa Morales, Carné No. 200516123

**PROYECTO:**

Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

**DIRECCIÓN:**

3a. Avenida 8-64, Residenciales Atlantida zona 18

**EMISIÓN DE INFORME:**

8 de noviembre de 2016

**Resultados:**

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 16 DÍAS		EXPANSIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
14/04/2016	8,0393	15/04/2016	8,9823	29/04/2016	10,1913	0,4836

**Observaciones:**

- a) Las lecturas de expansiones son el promedio de 3 muestras.
- b) Fecha de elaboración de barras de morteros: 13/04/16.
- c) La proporción que se usó para la fabricación de barras es 1 parte de cemento, 2,25 partes de agregado fino y 0,47 partes de agua.
- d) Se utilizo Cemento Progreso UGC
- e) El valor limite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.
- f) Mezcla patrón
- g) Flujo: 113

El presente informe unicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.   
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERIA --USAC--  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>



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



**INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA No. 08393  
DE MORTERO COGUANOR NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)**

HOJA 1/1

O.T. No. 34744 SACM - 488  
**INTERESADO:** Carlos Eduardo Ockrassa Morales, Carné No. 200516123  
**PROYECTO:** Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"  
**DIRECCIÓN:** 3a. Avenida 8-64, Residenciales Atlántida zona 18  
**EMISIÓN DE INFORME:** 8 de noviembre de 2016

**Resultados:**

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 16 DÍAS		CONTRACCIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
21/04/2016	1,4720	22/04/2016	1,4340	06/05/2016	1,2987	0,0541

**Observaciones:**

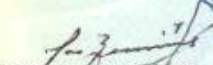
- a) Las lecturas de expansiones son el promedio de 3 muestras.
- b) Fecha de elaboración de barras de morteros: 13/04/16.
- c) La proporción que se usó para la fabricación de barras es 1 parte de cemento, 0,56 partes de chamota, 2,25 partes de agregado fino y 0,47 partes de agua.
- d) Se utilizó Cemento Progreso UGC
- e) El valor límite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.
- f) Mezcla 2
- g) Flujo: 111

El presente informe unicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.

  
 Ing. Francisco Javier Quinonez de la Cruz  
 Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
 Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>





INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA No. 08395  
DE MORTERO COGUANOR NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)

HOJA 1/1

O.T. No. 34744

SACM - 489

INTERESADO:

Carlos Eduardo Ockrassa Morales, Carné No. 200516123

PROYECTO:

Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

DIRECCIÓN:

3a. Avenida 8-64, Residenciales Atlantida zona 18

EMISIÓN DE INFORME:

8 de noviembre de 2016

Resultados:

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 16 DÍAS		EXPANSIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
02/08/2016	6,2900	03/08/2016	6,4593	17/08/2016	7,3753	0,3664

Observaciones:

- Las lecturas de expansiones son el promedio de 3 muestras.
- Fecha de elaboración de barras de morteros: 13/04/16.
- La proporción que se usó para la fabricación de barras es 1 parte de cemento, 1 parte de cal, 0,45 partes de chamota, 225 partes de agregado fino y 1,05 partes de agua.
- Se utilizo Cemento Progreso UGC.
- El valor límite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.
- Mezcla 3
- Flujo: 106

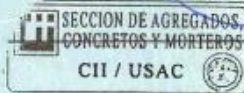
El presente informe unicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC





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



INFORME ENSAYO DE REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO MÉTODO DE LA BARRA No. 08396  
DE MORTERO COGUANOR NTG 41010 h14 (ASTM C-1260)

HOJA 1/1

O.T. No. 34744

SACM - 490

INTERESADO:

Carlos Eduardo Ockrassa Morales, Carné No. 200516123

PROYECTO:

Tesis "Implementación de morteros hidráulicos de cal y chamota de agarre en obra nueva y restauración"

DIRECCIÓN:

3a. Avenida 8-64, Residenciales Atlantida zona 18

EMISIÓN DE INFORME:

8 de noviembre de 2016

Resultados:

LECTURA INICIAL		LECTURA CERO		LECTURA 16 DÍAS		EXPANSIÓN (%)
FECHA	LONGITUD INICIAL (mm)	FECHA	LONGITUD CERO (mm)	FECHA	LONGITUD FINAL (mm)	
04/08/2016	4,7537	05/08/2016	4,7787	19/08/2016	5,7907	0,4048

Observaciones:


- Las lecturas de expansiones son el promedio de 3 muestras.
- Fecha de elaboración de barras de morteros: 13/04/16.
- La proporción a utilizar para la fabricación de barras es 1 parte de cemento, 2,22 parte de cal, 2,22 partes de Chamota, 5 de agregado fino y 2,68 partes de agua.
- Se utilizo Cemento Progreso.
- El valor limite permisible según norma ASTM C-1260, es de 0,20 %.
- Mezcla 4
- Flujo: 115

El presente informe unicamente para las muestras identificadas.  
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,

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

Vo.Bo.

  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Director CII/USAC



FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>