



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

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CAL EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TRES TIPOS DE  
MORTERO DE ALBAÑILERÍA**

**Carlos Eduardo Sabá Medrano**

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, marzo de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CAL EN LAS  
PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TRES TIPOS DE  
MORTERO DE ALBAÑILERÍA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CARLOS EDUARDO SABA MEDRANO**

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MARZO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
VOCAL I:  
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Alvarez  
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada  
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz  
VOCAL V: Br. Elisa Yazminda Vides Leiva  
SECRETARIA: Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson  
EXAMINADOR: Inga. Dilma Mejicanos Jol  
EXAMINADOR: Inga. Carmen Marina Mérida Alva  
EXAMINADOR: Ing. Armando Ola Hernández  
SECRETARIO: Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE LA CAL EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE TRES TIPOS DE MORTERO DE ALBAÑILERÍA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil el día 22 de febrero de 2005.

Carlos Eduardo Sabá Medrano

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad  
de San Carlos  
de Guatemala**

Alma mater del conocimiento.

**La Facultad de  
Ingeniería de la  
Universidad de  
San Carlos de  
Guatemala**

Respetuosamente.

**Ing. Sergio  
Vinicio  
Castañeda  
Lemus**

Por compartir sus conocimientos y brindar el tiempo necesario para la realización del presente trabajo.

**Familia Saravia  
García**

Por su cariño fraternal y ayuda en la realización del presente trabajo.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**AL REY DE  
REYES Y  
SEÑOR DE  
SEÑORES  
JESUCRISTO**

Gracias padre por estar conmigo en los momentos de alegría y angustia, por ser mi ayudador y proveedor, sin ti mi vida no tendría sentido.

**MI MADRE**

Amanda Emérita Sabá Medrano, por brindarme el apoyo necesario para alcanzar esta meta.

**MI PADRE**

Carlos Eduardo Cuc Mejía con cariño y respeto.

**MI HERMANO**

Pablo José Cuc Sabá por tu amor y respeto, Dios te bendiga.

**MI NOVIA**

Florecita Azañon, gracias por tu amor y apoyo incondicional, eres especial... te amo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI

<b>1</b>	<b>MORTEROS</b>	<b>1</b>
1.1	Generalidades	1
1.2	Componentes de los morteros	1
1.2.1	Cemento	1
1.2.1.1	Tipos de cementos según ASTM	2
1.2.1.1.1	Cemento portland hidráulico	2
1.2.1.1.2	Cemento portland blanco	3
1.2.1.1.3	Cementos hidráulicos mezclados	3
1.2.1.1.4	Cementos de mampostería o de albañilería	4
1.2.1.1.5	Cementos expansivos	4
1.2.1.1.6	Cementos especiales	5
1.2.2	Cal	5
1.2.2.1	Propiedades físicas de la cal hidratada	7
1.2.2.1.1	Finura	7
1.2.2.1.2	Estabilidad	8
1.2.2.1.3	Plasticidad	8
1.2.2.1.4	Retención de agua	8

	1.2.2.1.5	Capacidad de incorporación de arena	9
1.2.3		Agregados	9
	1.2.3.1	Agregados utilizados en Guatemala	10
	1.2.3.1.1	Agregados artificiales o triturados	10
	1.2.3.1.2	Agregados naturales	12
	1.2.3.1.2.1	Pómez	13
	1.2.3.1.2.2	Arena amarilla	13
	1.2.3.1.2.3	Arena de río	13
1.2.4		Agua de mezclado	14
1.2.5		Aditivos	14
	1.2.5.1	Tipos	14
	1.2.5.1.1	Inclisor de aire	14
	1.2.5.1.2	Acelerantes	15
	1.2.5.1.3	Retardantes	15
	1.2.5.1.4	Retardantes para extender la vida	15
	1.2.5.1.5	Repelentes integrales de agua	16
	1.2.5.1.6	Modificadores de adherencia	16
	1.2.5.1.7	Pigmentos de color	16
	1.2.5.1.8	Inhibidores de corrosión	16
1.3		Tipos y usos de los morteros	17
	1.3.1	Tipos	17
	1.3.1.1	Morteros de cemento	17
	1.3.1.2	Morteros de cal	18
	1.3.1.3	Morteros de cal y cemento portland	18
	1.3.2	Usos	19



1.4	Clasificación de los morteros, según norma ASTM C-270	21
1.5	Selección del tipo de mortero según su uso	24
1.6	Morteros utilizados en Guatemala	26
1.6.1	Elaborados en obra	26
1.6.2	Pre-mezclados	26
1.6.3	Pre-dosificados	27
<b>2</b>	<b>PROPIEDADES DE LOS MORTEROS</b>	<b>29</b>
2.1	En estado fresco	29
2.1.1	Trabajabilidad	29
2.1.2	Retención de agua	30
2.1.3	Contenido de Aire	31
2.1.4	Masa Unitaria	31
2.1.5	Velocidad de endurecimiento por medio de la resistencia a la penetración	32
2.2	En estado endurecido	33
2.2.1	Resistencia a la compresión	33
2.2.2	Adherencia	33
2.2.3	Variaciones de volumen	34
2.2.4	Resistencia a la tensión	35
2.2.5	Resistencia a la flexión	35
2.2.6	Resistencia al corte	36
2.2.7	Permeabilidad	36
2.2.8	Durabilidad	37

<b>3</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EVALUADAS</b>	<b>39</b>
3.1	En estado fresco	39
3.1.1	Trabajabilidad	39
3.1.2	Retención de agua	40
3.1.3	Masa unitaria	42
3.1.4	Contenido de aire	43
3.1.5	Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración	45
3.2	En estado endurecido	46
3.2.1	Resistencia a la compresión	46
3.2.2	Resistencia a la tensión	48
3.2.3	Resistencia a la flexión	49
3.2.4	Adherencia	51
3.2.5	Cambios de longitud	55
3.2.6	Permeabilidad al agua	56
<b>4</b>	<b>EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS DE LOS MORTEROS PROPUESTOS</b>	<b>61</b>
4.1	Descripción del estudio	61
4.2	Resultados	63
4.2.1	Agregados	63
4.2.2	Bloques utilizados para la elaboración de prismas	64
4.2.3	Morteros	65
4.2.3.1	Trabajabilidad	65
4.2.3.2	Retención de agua	65
4.2.3.3	Masa unitaria	66
4.2.3.4	Contenido de aire	66

4.2.3.5	Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración	67
4.2.3.6	Resistencia a la compresión	71
4.2.3.7	Resistencia a la tensión	74
4.2.3.8	Resistencia a la flexión	78
4.2.3.9	Adherencia	81
4.2.3.10	Cambios de longitud	82
4.2.3.11	Permeabilidad al agua	83

<b>5</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>87</b>
5.1	Agregados	87
5.2	Bloques utilizados para la elaboración de prismas	87
5.3	Morteros	87
5.3.1	Trabajabilidad	87
5.3.2	Retención de agua	88
5.3.3	Masa unitaria	89
5.3.4	Contenido de aire	90
5.3.5	Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración	91
5.3.6	Resistencia a la compresión	92
5.3.7	Resistencia a la tensión	94
5.3.8	Resistencia a la flexión	95
5.3.9	Adherencia	96
5.3.10	Cambios de longitud	97
5.3.11	Permeabilidad al agua	98

<b>CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>103</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>105</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación de bancos de calizas en Guatemala	6
2.	Ubicación de los principales bancos de agregados disponibles en Guatemala	12
3.	Ensayo de trabajabilidad	40
4.	Ensayo de retención de agua	42
5.	Ensayo de masa unitaria y contenido de aire	44
6.	Ensayo resistencia a la penetración	46
7.	Ensayo de compresión	47
8.	Ensayo de tensión	49
9.	Ensayo de flexión	50
10.	Prisma para ensayo con cargas aplicadas para la evaluación de adherencia entre mortero-unidad de mampostería	52
11.	Equipo para la realización del ensayo de adherencia	53
12.	Ensayo de cambio de longitud	56
13.	Tubo karsten para efectuar mediciones en parámetros verticales	57
14.	Ensayo de permeabilidad	59
15.	Ensayo de permeabilidad junta mortero-unidad	59
16.	Distribución granulométrica de los agregados finos	64
17.	Comportamiento velocidad de endurecimiento sabieta-cal	68
18.	Comportamiento velocidad de endurecimiento sabieta	68

19.	Comportamiento velocidad de endurecimiento cernido-cal	69
20.	Comportamiento velocidad de endurecimiento cernido	69
21.	Comportamiento velocidad de endurecimiento repello-cal	70
22.	Comportamiento velocidad de endurecimiento repello	70
23.	Comportamiento resistencia a la compresión sabieta-cal	71
24.	Comportamiento resistencia a la compresión sabieta	72
25.	Comportamiento resistencia a la compresión cernido-cal	72
26.	Comportamiento resistencia a la compresión cernido	73
27.	Comportamiento resistencia a la compresión repello-cal	73
28.	Comportamiento resistencia a la compresión repello	74
29.	Comportamiento resistencia a la tensión sabieta-cal	75
30.	Comportamiento resistencia a la tensión sabieta	75
31.	Comportamiento resistencia a la tensión cernido-cal	76
32.	Comportamiento resistencia a la tensión cernido	76
33.	Comportamiento resistencia a la tensión repello-cal	77
34.	Comportamiento resistencia a la tensión repello	77
35.	Comportamiento resistencia a la flexión sabieta-cal	78
36.	Comportamiento resistencia a la flexión sabieta	79
37.	Comportamiento resistencia a la flexión cernido-cal	79
38.	Comportamiento resistencia a la flexión cernido	80
39.	Comportamiento resistencia a la flexión repello-cal	80
40.	Comportamiento resistencia a la flexión repello	81
41.	Cambio de longitud	82
42.	Tasa de absorción	84
43.	Evaluación permeabilidad junta mortero-unidad	85
44.	Evaluación de la permeabilidad mortero de acabado	85
45.	Relación agua/aglomerante	88
46.	Retención de agua	89
47.	Masa unitaria	90

48.	Contenido de aire	91
49.	Tiempos de fraguado	92
50.	Resistencia a la compresión a diversas edades	93
51.	Resistencia a la tensión a diversas edades	94
52.	Resistencia a la flexión a diversas edades	95
53.	Falla inicial presentada en los prismas para la evaluación de adherencia sabieta-cal	96
54.	Adherencia a 28 días	97
55.	Cambios de longitud a 28 y 56 días	98
56.	Permeabilidad junta mortero-unidad	99
57.	Permeabilidad de la capa de mortero	99
58.	Informe de la sección de Concretos del CII USAC, caracterización de agregados finos	112
59.	Informe de la sección de Metales y Productos Manufacturados del CII USAC, caracterización de bloques	115
60.	Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros propuestos	117
61.	Informe de la Sección de Estructuras del CII USAC, evaluación de la adherencia de los morteros propuestos mediante el uso de prismas	123

## TABLAS

I.	Tipos de cementos portland según norma ASTM C-150	2
II.	Denominaciones de cal	5
III.	Granulometría de los agregados finos para morteros	10
IV.	Especificación de los morteros por propiedades	22
V.	Especificación de los morteros por proporciones	23
VI.	Masa de los materiales del mortero	23
VII.	Guía para seleccionar morteros de mampostería	25
VIII.	Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria	32
IX.	Relaciones velocidad del viento-altura en columna de agua para el ensayo karsten	58
X.	Proporciones volumétricas utilizadas en Guatemala para la elaboración de morteros de sabieta, repello y cernido.	61
XI.	Proporciones volumétricas de morteros evaluados	62
XII.	Proporciones en masa para la elaboración de una bachada de mortero	62
XIII.	Características físicas de los agregados finos	63
XIV.	Distribución granulométrica de los agregados finos	63
XV.	Características físico-mecánicas promedio de los bloques	64
XVI.	Trabajabilidad ( $110 \pm 5$ )	65
XVII.	Retención de agua	65
XVIII.	Masa unitaria	66
XIX.	Contenido de aire	66
XX.	Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración	67
XXI.	Resistencia a la compresión	71
XXII.	Resistencia a la tensión	74
XXIII.	Resistencia a la flexión	78



XXIV.	Adherencia	81
XXV.	Cambio de longitud	82
XXVI.	Evaluación permeabilidad junta mortero-unidad	83
XXVII.	Evaluación permeabilidad	83
XXVIII.	Perdida de columna de agua y absorción	84
XXIX.	Clasificación de los morteros en estudio, según su resistencia mínima a la compresión a los 28 días	93



## GLOSARIO

<b>Agregados</b>	Material granular inerte tal como la arena natural, arena artificial, grava y roca triturada que se utilizan para elaborar concreto o mortero.
<b>Adherencia</b>	Adhesión y enlace entre los morteros de pega y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
<b>Admixturas</b>	Cualquier material utilizado para elaborar concreto o mortero que no sea agua, agregado o aglomerante.
<b>Asentamiento</b>	Medida de la consistencia del concreto o el grout utilizando el cono de Abrams.
<b>ASTM</b>	Siglas en ingles de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales.
<b>Banco de explotación</b>	Lugar de donde se extraen los agregados, estos pueden ser: ríos, lagos, montañas y canteras.
<b>COGUANOR</b>	Siglas de la Comisión Guatemalteca de normas.

<b>Densidad</b>	Relación entre el volumen bruto y la masa, -peso-, de una unidad o espécimen.
<b>Durabilidad</b>	Habilidad de un material para resistir la acción de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y otras condiciones de servicio.
<b>Eflorescencia</b>	Depósito de sales solubles, generalmente blancas y comúnmente sulfato de calcio que se forma en la superficie de la mampostería al evaporarse la humedad.
<b>Ensayo</b>	Procedimiento al que se somete un espécimen para evaluar alguna característica de éste
<b>Especimen</b>	Unidad, -o parte de esta-, o porción de mortero que hacen parte de la muestra y que se somete a ensayo.
<b>Flujo</b>	Propiedad de un mortero, medida en un laboratorio, que indica el porcentaje de incremento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se coloca sobre una mesa de flujo, la cual se levanta mecánicamente y se deja caer un número de veces determinado, bajo condiciones específicas.
<b>Fraguado</b>	Es el cambio del estado plástico al estado endurecido de una mezcla; la cual puede ser una pasta, mortero o concreto.

- Granulometría** Es la distribución del tamaño de las partículas de una muestra de agregado, determinada por separación mediante una serie de tamices estandarizados.
- Grout** Es una mezcla de material cementante, agregados, agua, con o sin admixturas, producido para proporcionar una consistencia sin segregación, -asentamiento entre 8 a 10 pulgadas-.
- Mampostería** Tipo de estructura que utiliza la combinación de resistencia entre bloque y mortero como parámetro fundamental de diseño.
- Mortero** Es una mezcla consistente en material cementante, agregado fino, agua, con o sin admixturas; el cual es utilizado como recubrimiento, acabado o para unir bloques de mampostería.
- Trabajabilidad** Característica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido.



## RESUMEN

En este trabajo se presenta una breve descripción de los componentes, usos, tipos, clasificación y propiedades de los morteros, así como la evaluación de algunas propiedades físico-mecánicas en estado fresco y endurecido a tres tipos de mortero de albañilería utilizados en nuestro medio con y sin adiciones de cal.

Para la realización del estudio se seleccionó, mediante sondeo de campo en diversos proyectos de construcción, la proporción volumétrica más utilizada por los albañiles para elaborar morteros de sabieta, cernido y repello, para, luego, invertir la cantidad de cal por cemento en cada una de las proporciones investigadas en campo, esto con el propósito de obtener morteros con mayor cantidad de cal o viceversa, realizando una evaluación de como se ven afectadas las propiedades físico-mecánicas en dichas mezclas.

Con este propósito se realizaron ensayos de trabajabilidad, retención de agua, masa unitaria, contenido de aire, velocidad de endurecimiento, resistencia a la compresión, tensión y flexión, cambios de longitud a los morteros evaluados, estos corresponden a pruebas de laboratorio descritas en normas COGUANOR y ASTM aplicables. Para los ensayos de adherencia y permeabilidad al agua se utilizaron métodos alternativos, los cuales aun no se hallan normalizados.





# OBJETIVOS

## General

Evaluar la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de morteros de albañilería en proporciones definidas.

## Específicos

1. Identificar y aplicar normativa nacional e internacional referente al estudio de morteros de albañilería propuestos.
2. Realizar un análisis experimental mediante una serie de ensayos de laboratorio que permitan evaluar las propiedades físico-mecánicas a morteros de sabieta, cernido y repello afectadas con la adición de cal.
3. Generar información técnica que permita caracterizar los morteros estudiados.
4. Evaluar el comportamiento de los morteros mediante ensayos en prismas de mampostería.



## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad la cal ha sido el material aglomerante que más se ha utilizado en la elaboración de morteros, fue, ampliamente, usada por los sirios, mesopotámicos, egipcios y babilonios. Algunos de los problemas de los morteros de cal son su fraguado, poco desarrollo de resistencia a tensión y compresión, así como su contracción y velocidad de endurecimiento, es por ello que, últimamente, el uso de la cal en morteros ha sido parcialmente desplazado con la aparición del cemento portland; debido a sus propiedades aglomerantes similares a las de esta, proporcionando menor tiempo de fraguado, alto desarrollo de resistencia a compresión; pero, a la vez, disminuyendo la trabajabilidad y retención de agua del mortero.

Producto de ensayos realizados se ha determinado que la adición de cal a morteros de cemento; no solo mejora su trabajabilidad; sino, también, su capacidad de adherencia, retención de agua, permite mayor adición de arena; ya que, las partículas de la cal poseen mayor área de contacto de recubrimiento para con los agregados, permeabilidad; lo cual impide la filtración de agua y humedad entre las juntas de unidades de mampostería y mortero, mayor elasticidad; permitiendo que los muros de mampostería no sean tan rígidos ante fuerzas de viento y sismo.

El presente estudio se enfoca para dar a conocer las diferentes normas ASTM y COGUANOR sobre morteros, allí se indican procedimientos y especificaciones referentes a estos. También, se presenta una breve descripción acerca del uso de los morteros tomando en cuenta el tipo de trabajo o las condiciones a las que estos serán sometidos.



# 1 MORTEROS

## 1.1 Generalidades

El mortero es un material de construcción constituido básicamente por una mezcla de cemento, agregado fino y eventualmente otro material aglomerante (cal, yeso, etc.) que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia, también puede estar compuesto por aditivos que mejoren sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Al endurecer el mortero presenta propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y es ampliamente utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros (llamándosele mortero de mampostería, de albañilería o de junta), o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como acabado, repello o revoque. A pesar de que el mortero de levantado ocupa alrededor de un 15% del volumen total de un muro, desempeña un papel crucial en su funcionamiento estructural.

## 1.2 Componentes de los morteros

### 1.2.1 Cemento

El cemento es un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos minerales entre si, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Este tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua ya que con ella experimenta una reacción química llamada hidratación<sup>1</sup>.

## 1.2.1.1 Tipos de cementos según ASTM

### 1.2.1.1.1 Cemento portland hidráulico

En Guatemala las especificaciones del cemento portland se muestran en la norma COGUANOR NGO 41 005 (Cemento portland, clasificación y especificaciones), equivalente de la norma ASTM C-150 (*Standard specification for portland cement*), de ella se derivan otras normas para la evaluación de las características físicas, químicas y mecánicas de los cementos. Para evaluar las características físicas se realizan ensayos de consistencia normal, peso específico, finura, velocidad de endurecimiento y cambios volumétricos. Las principales características químicas se evalúan mediante ensayos de reactividad potencial con los agregados, pérdida por ignición, determinación de residuo insoluble y determinación del sulfato de calcio. Las características mecánicas se evalúan mediante ensayos de compresión y tensión.

La norma ASTM C-150, define ocho tipos de cemento portland hidráulicos (ver tabla I).

**Tabla I. Tipos de cementos portland según norma ASTM C-150**

Tipo I	Normal
Tipo IA	Normal, inclusivor de aire
Tipo II	De resistencia moderada a los sulfatos
Tipo IIA	De resistencia moderada a los sulfatos, inclusivor de aire
Tipo III	De alta resistencia a edad temprana
Tipo IIIA	De alta resistencia a edad temprana, inclusivor de aire
Tipo IV	De bajo calor de hidratación
Tipo V	De resistencia elevada a los sulfatos

Fuente: Steven H. Kosmatka y William C Panarese, **Diseño y control de mezclas de concreto**. Pág. 16

### **1.2.1.1.2 Cemento portland blanco**

El cemento blanco es un cemento portland que difiere del cemento gris exclusivamente en cuanto a su color, se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C-150, sin embargo, el proceso de manufactura es controlado de manera tal que el producto terminado sea blanco.

### **1.2.1.1.3 Cementos hidráulicos mezclados**

El reciente interés en la conservación de energía ha impulsado el uso de materiales secundarios en el concreto de cemento portland. Los cementos hidráulicos mezclados se producen al mezclar de manera íntima y uniforme dos tipos de materiales finos. Los principales materiales de mezclado son el cemento portland, escorias de alto horno molidas, cenizas volantes y otras puzolanas, cal hidratada, y combinaciones previamente mezcladas de cemento con estos materiales. El polvo de horno de cemento, al igual que el humo de sílice y otros materiales se encuentran actualmente sujetos a investigación para poder ser utilizados en los cementos mezclados. Los cementos hidráulicos mezclados deben concordar con los requisitos de la norma ASTM C-595 (*Standard specification for blended hydraulic cements*), que reconoce cinco clases de cementos mezclados:

- Cemento portland de escoria de alto horno - Tipo IS
- Cemento portland-puzolana - Tipo IP Y Tipo P
- Cemento de escoria - Tipo S
- Cemento portland modificado con puzolana - Tipo 1(PM)
- Cemento portland modificado con escoria - Tipo I(SM)

#### **1.2.1.1.4 Cementos de mampostería o de albañilería**

Son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros para construcciones de mampostería. Se componen de alguno o varios de los siguientes materiales: cemento portland, cemento portland-puzolana, cemento portland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica, y cemento natural; además contienen normalmente cal hidratada, caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla. Los materiales se seleccionan de acuerdo a su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros.

La norma ASTM C-91 (*Standard specification for masonry cement*) clasifica a los cementos de albañilería como Tipo N, Tipo S y Tipo M, estos pueden usarse para recubrimientos y para unir bloques de mampostería; nunca se deben emplear para elaborar concreto.

#### **1.2.1.1.5 Cementos expansivos**

Es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C-845 (*Standard specification for expansive cement*) en la cual se le designa como cemento Tipo E-I. Comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo, mismas que se designan como K, M y S.



### 1.2.1.1.6 Cementos especiales

Existen tipos especiales de cemento que no están necesariamente incluidos en las especificaciones ASTM; algunos de ellos contienen cemento portland. A continuación se presentan algunos:

- Cementos para pozo petrolero
- Cementos portland impermeabilizados
- Cementos plásticos
- Cementos de fraguado regulado
- Cementos con adiciones funcionales

### 1.2.2 Cal

Se llama cal a 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, al calcinarlas se obtiene la cal, material básico en la industria de la construcción. Las propiedades hidráulicas del material obtenido se le atribuyen a los silicatos, aluminatos y ferritos formados. En la tabla II se presentan otras denominaciones de la cal.

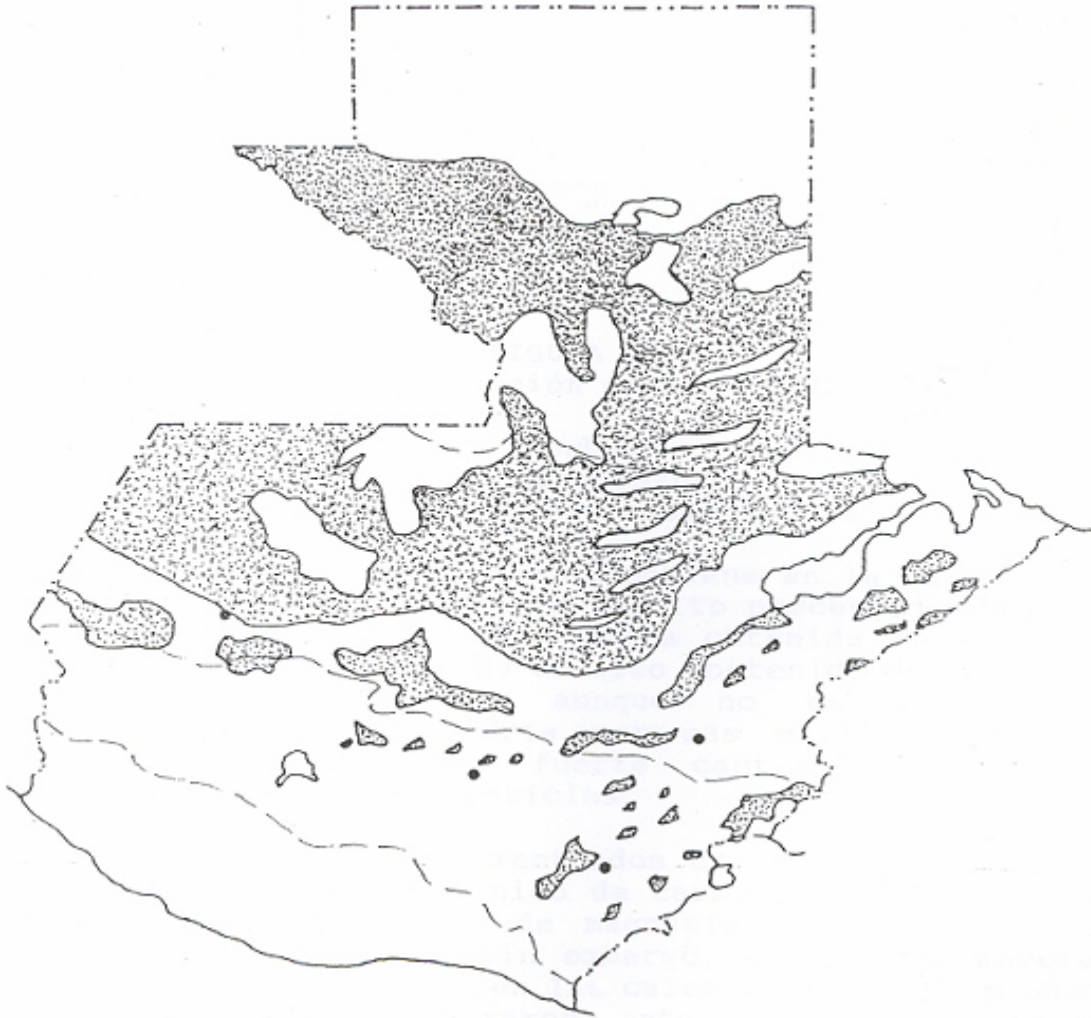
**Tabla II. Denominaciones de cal**

<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.** Pág. 3

En Guatemala la caliza, se localiza en casi todo el territorio, sin embargo, se nota una tendencia a encontrarla principalmente en la región nororiental y oriental con mayor contenido de carbonato de calcio, mientras que en gran cantidad se encuentra en las regiones central y occidental, con alto contenido de carbonato de magnesio. De los minerales no metálicos que Guatemala produce o procesa la caliza representa el 61%<sup>2</sup>.

**Figura 1. Ubicación de bancos de calizas en Guatemala**



Fuente: F. J. Quiñónez, C. Robledo. **Perfil Descriptivo de la industria de la cal en Guatemala.** Pág. 7

En Guatemala las especificaciones que cubren la calidad de la cal hidratada se encuentran en la norma COGUANOR NGO 41 018 (Cal hidratada, especificaciones); en ella se da la clasificación, especificaciones, requisitos mínimos, métodos de prueba, etc., esta norma es equivalente de la norma ASTM C-207 (*Standard specification for hydrated lime for masonry purposes*). Se describen procedimientos de ensayo para verificar si la misma cumple o no con las características físicas, químicas y mecánicas deseadas. Quizás las características más importantes de la cal son las físicas y químicas; debido a que la cal es un material aglomerante el cual no proporciona de cualidades resistentes al mortero; es por ello que sus propiedades mecánicas no son tan relevantes.

### **1.2.2.1 Propiedades físicas de la cal hidratada**

Las propiedades de la cal pueden notarse en las dos fases del mortero las cuales son la plástica o estado fresco y la seca o estado endurecido. Ambas fases son importantes. El mortero plástico debe lograr una consistencia adecuada para la colocación, mientras que en su estado endurecido debe mantener los ladrillos unidos y soportar cargas, agua y temperaturas extremas.

#### **1.2.2.1.1 Finura**

Debido a la elevada finura de los granos (superficie específica) alcanza una resistencia mecánica de 3 MPa por simple secamiento. La finura influye sobre la fluidez, cohesión y retención del agua. Un tamaño entre 0.05 y 5 mm. es satisfactorio. En Guatemala se evalúa mediante la norma COGUANOR NGO 41019h4 (Cal hidratada y cal viva. Determinación del residuo sobre tamiz por vía húmeda).

#### **1.2.2.1.2 Estabilidad**

Cuando el apagado de la cal viva está mal hecho, pueden resultar partículas de CaO (óxido de calcio). Los morteros que contienen estas impurezas pueden sufrir el problema de que con la presencia de la humedad, el CaO se transforma en Ca(OH)<sub>2</sub> (dihidróxido de calcio), con aumento significativo del volumen, provocando protuberancias o cavidades. Esto también se debe a la presencia de MgO (óxido de magnesio), procedente de las calcáreas magnésicas o dolomíticas.

#### **1.2.2.1.3 Plasticidad**

Es una característica de la cal que engloba las siguientes propiedades:

- Cohesión (capacidad de la mezcla para mantenerse íntegra y adherida a la superficie);
- Fluidez (capacidad del mortero del permitir el encogimiento de las partículas entre si y por lo tanto de deformarse);
- Retención de agua (para evitar la pérdida de agua por absorción o por evaporación).

En Guatemala se evalúa mediante la norma COGUANOR NGO 41020h3 (Cal hidratada. Determinación de la plasticidad).

#### **1.2.2.1.4 Retención de agua**

Propiedad de la cal que permite al mortero conservar la consistencia desde la preparación hasta el momento de aplicación, es decir, permanecer húmedo o con poca retracción por secado hasta adquirir su resistencia.

Esta propiedad se evalúa mediante la norma COGUANOR NGO 41020h2 (Cal hidratada. Determinación de la retención de agua).

#### **1.2.2.1.5 Capacidad de incorporación de arena**

La gran cantidad y pequeño tamaño de las partículas de cal significa que cada partícula de arena puede ser cubierta con esta, desde el punto de vista de fluidez en los morteros frescos, mayor será la cantidad de arena que se podrá adicionar a la mezcla y por tanto mayor economía.

#### **1.2.3 Agregados**

Se utiliza el agregado fino o arena tal como se encuentra en la naturaleza o proveniente de la trituración de las rocas.

Una arena graduada dentro de los límites granulométricos dará como resultado una masa densa de agregados, requiriendo una mínima cantidad de materiales cementantes para una resistencia dada. Al mismo tiempo, el escurrimiento y el encogimiento son minimizados, los agregados deben tener preferentemente forma redondeada, pues estas producen mayor trabajabilidad. En las normas ASTM C-144 (*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*) y COGUANOR NGO 41 066 (Agregados o áridos, especificaciones de los agregados para morteros de albañilería) se muestran los límites granulométricos (Ver tabla III).

La resistencia y trabajabilidad del mortero es incrementada con el uso de arena bien gradada, partículas muy grandes, pueden causar concentración de esfuerzos. Como regla general, el tamaño máximo de partículas no debe ser mayor que  $1/3$  ó  $1/2$  del espesor de la junta.

**Tabla III. Granulometría de los agregados finos para morteros**

Abertura del tamiz		Porcentaje en masa que pasa	
		Agregado natural	Agregado artificial
4.75 mm	No.4	100	100
2.36 mm	No.8	95 a 100	95 a 100
1.18 mm	No.16	70 a 100	70 a 100
600 $\mu\text{m}$	No.30	40 a 75	40 a 75
300 $\mu\text{m}$	No.50	10 a 35	20 a 40
150 $\mu\text{m}$	No.100	2 a 15	10 a 25
75 $\mu\text{m}$	No.200	5	0 a 10

Fuente: Comité Guatemalteco de normas, **COGUANOR NGO 41066**. Pág. 2

### **1.2.3.1 Agregados utilizados en Guatemala**

#### **1.2.3.1.1 Agregados artificiales o triturados**

Los agregados artificiales, triturados o de cantera, proceden de la trituración de formaciones rocosas adecuadas. Este tipo de agregado procede de rocas duras, tenaces, resistentes, durables y que no tengan elementos minerales que reaccionen con el cemento. Entre las principales rocas empleadas para trituración tenemos las siguientes:

- a) Volcánicas e ígneas, ya sean intrusivas o extrusivas: riolitas, andesitas, basaltos, granitos, etc.
- b) Sedimentarias: calizas, dolomitas.
- c) Las metamórficas: el gneiss, los esquistos, pizarra, mármol, etc.

### **1.2.3.1.2 Agregados naturales**

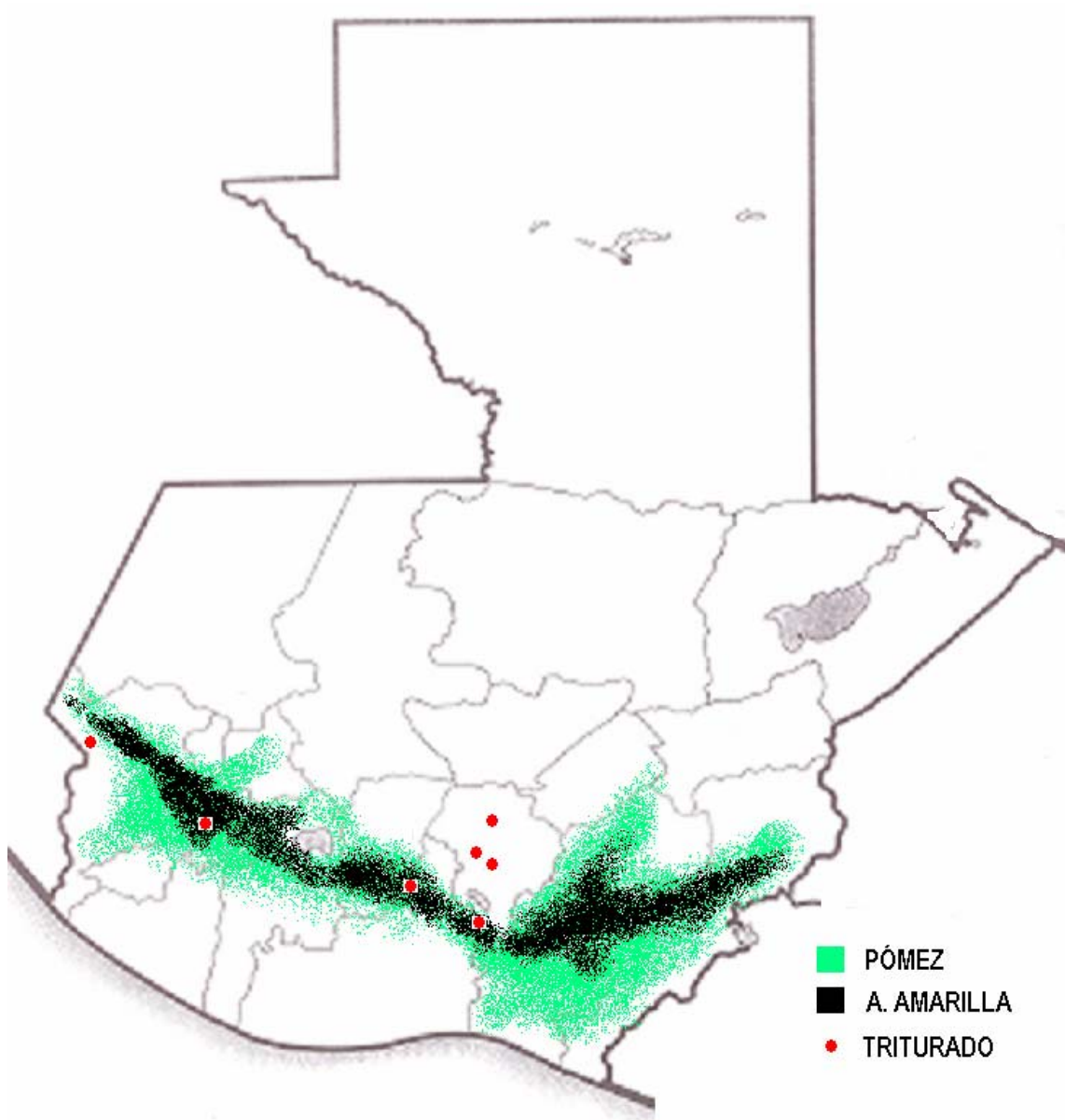
Comprenden:

- a) Aquellos extraídos de barras o bancos de ríos, formados por sedimentación al disminuir la velocidad de la corriente.
- b) Los que se obtienen de mantos y depósitos residuales formados por la desintegración de rocas son llamados Arena de "peña" o de "mina".

Los agregados naturales usados son la arena y la grava. Estos materiales están compuestos por granos de distinto tamaño, independiente de su forma, uniformidad y composición mineralógica.

Dentro de los agregados finos naturales que existen en Guatemala se tienen la arena blanca o arena pómez, arena amarilla, arena de río y arena triturada, (ver figura 2).

**Figura 2. Ubicación de los principales bancos de agregados disponibles en Guatemala**



Fuente: Carlos Leonel Estuardo Suárez Bendfelt. **Análisis de las propiedades físico-mecánicas en morteros de mampostería a base de arena blanca.** Guatemala. Pág. 15



#### **1.2.3.1.2.1 Pómez**

Este se caracteriza por ser un agregado natural liviano cuya densidad específica se encuentra en el orden de 2-2.1, su porcentaje de absorción se encuentra entre 3-4.5 (debido a los poros que este posee). En Guatemala dichos agregados se pueden hallar uniformemente distribuidos alrededor de la provincia volcánica, esto se debe a que son producto de la expansión violenta de gases disueltos provocados por erupciones.

#### **1.2.3.1.2.2 Arena amarilla**

Este tipo de agregado fino natural liviano es una mezcla de grava, arena pómez, limo y pequeñas cantidades de arcilla, su densidad específica se encuentra en el orden de 1.8-2.1, su porcentaje de absorción se encuentra entre 6-8.5, esto se debe a la cantidad de partículas de grava y arena pómez que contiene; las partículas de arcilla fina absorben y retienen el agua, dando así una mayor retención de agua a los morteros que se fabrican con este material; siendo contrario de los que se fabrican con arena pómez, ya que estos drenan el agua debido a la cantidad de poros que poseen. Estratigráficamente este tipo de agregado generalmente se ubica sobre una capa de arena pómez.

#### **1.2.3.1.2.3 Arena de río**

Los agregados finos de canto rodado se encuentran en los ríos, lagos y mares (utilizados bajo ciertas condiciones) cuya densidad específica se encuentra entre 2.5-2.9, su porcentaje de absorción se encuentra entre 1-2.8, este tipo de agregado esta compuesto en su mayoría por partículas de cuarzo.

Se recomienda que al utilizar este tipo de agregado se evalúe su contenido de materia orgánica, ya que si se tienen altos contenidos afectan algunas propiedades físico-mecánicas de las mezclas de concreto o mortero.

#### **1.2.4 Agua de mezclado**

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado se puede utilizar para producir mortero o concreto. Sin embargo algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para este uso, si se tienen dudas del agua a ser utilizada; se pueden fabricar cubos de mortero de acuerdo con la norma ASTM C-109 (*Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars using cube specimens*), además de realizar los ensayos ASTM C-191 (*Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle*) para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo de fraguado del cemento acortándolo o prolongándolo.

#### **1.2.5 Aditivos**

Los aditivos son productos que se utilizan para mejorar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del los morteros o del concreto; en estado fresco como endurecido.

##### **1.2.5.1 Tipos**

###### **1.2.5.1.1 Inclisor de aire**

Ayudan al mortero endurecido a resistir los ciclos de congelación y descongelación y mejora la trabajabilidad de la mezcla fresca. Introduce burbujas minúsculas en la mezcla.

#### **1.2.5.1.2 Acelerantes**

Se utilizan para disminuir el tiempo de fraguado entre 30% y 40%, también aumenta la resistencia a las 24 horas hasta en un 150% o más mediante la aceleración de la hidratación del cemento, pueden reducir sustancialmente el tiempo de protección contra el frío cuando se trabaja a baja temperatura. Los acelerantes reductores de agua incrementan la resistencia temprana y la resistencia última reduciendo la relación agua-cemento de la mezcla. Se utilizan en las obras ubicadas en clima frío donde el fraguado se retarda.

#### **1.2.5.1.3 Retardantes**

Se utilizan para extender la vida del mortero fresco hasta por 4 o 5 horas, combatiendo el fraguado rápido causado por temperaturas sobre 21 °C, ayudan a retener el agua de mezcla por períodos más largos, y pueden eliminar la necesidad de reacondicionar con agua el mortero.

#### **1.2.5.1.4 Retardantes para extender la vida**

Hacen más lento el tiempo de reacción del cemento y el agua para dar al mortero hasta 72 horas según la dosis utilizada. La trabajabilidad extendida en duración permite que el mortero sea preparado con gran control de calidad en una planta de mezclado para luego ser enviado a la obra, tienen poco o ningún efecto sobre el tiempo de fraguado ya que estos son absorbidos cuando el mortero hace contacto con las unidades de mampostería.

#### **1.2.5.1.5 Repelentes integrales de agua**

Reducen la absorción de agua del mortero hasta un 60%, sin afectar la resistencia deseada. Deben utilizarse solamente en morteros de levantado, en paredes de poco espesor y piezas de concreto arquitectónico expuestas a la intemperie.

#### **1.2.5.1.6 Modificadores de adherencia**

Mejoran la adherencia, la densidad superficial y la resistencia a la congelación. Se utilizan para mejorar la adherencia de piezas muy lisas de superficie, como bloques cerámicos.

#### **1.2.5.1.7 Pigmentos de color**

Se utilizan para proporcionar beneficios estéticos únicamente, también se usan para resaltar o combinarlo con el color de las piezas de mampostería.

#### **1.2.5.1.8 Inhibidores de corrosión**

Se utilizan para contrarrestar el efecto negativo de los cloruros y evita la corrosión del acero, se aplican en ambientes marinos o donde las sales desheladoras sean utilizadas, aplicándola solamente en mortero o lechada con acero embebido. Para su fabricación se utiliza nitrito de calcio.

### **1.3 Tipos y usos de los morteros**

En términos generales, dentro de los morteros se pueden distinguir dos familias: los aéreos y los hidráulicos. Los primeros endurecen bajo la influencia del aire al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación. Los hidráulicos, endurecen bajo agua, ya que, al igual que los cementos naturales, posee en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

De acuerdo con los materiales que lo componen, se tienen los morteros de cemento y cal, de cemento y de cal.

#### **1.3.1 Tipos**

##### **1.3.1.1 Morteros de cemento**

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas del mortero, se pueden utilizar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland. La confección de este mortero, 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 la arena y luego se añade el agua. Desde luego, la cantidad de cemento no puede disminuir mucho, ya que si la mezcla es muy pobre en aglomerante, ésta se hace áspera e intrabajable porque las partículas de arena rozarán entre sí, al no existir la pasta lubricante de cemento.

### **1.3.1.2 Morteros de cal**

A los morteros de cal también se le conocen con el nombre de calcáneos debido a que esta es un plastificante y ligador el cual fragua o endurece al ser expuesto al aire. Estas características hacen del mortero de cal el más manejable de los conocidos. Sin embargo no pueden esperarse de él altas resistencias iniciales, debido a su baja velocidad de endurecimiento.

Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal dolomítica (cal gris). La arena en este caso en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, piedras grandes, polvo y arcilla. Las proporciones cal-arena más usadas en morteros aéreos son 1:2 para acabados y 1:3 o 1:4 para morteros de levantado. Si la proporción aumenta, el mortero es más magro pierde ductilidad y trabajabilidad; y si el mortero es más graso, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables.

### **1.3.1.3 Morteros de cal y cemento portland**

Cuando se busca una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales, este tipo de mortero es aconsejable. Utilizando como base un mortero 1:3 se puede ir sustituyendo parte del cemento por cal. Estos morteros reciben el nombre de "Morteros de Cemento Rebajados" cuando el contenido de cemento es escaso. Las proporciones más usadas en Guatemala varían de 1:1/4:2 a 1:1:4 (cemento: cal: arena). La cantidad de agua se encuentra dentro de amplios límites, de acuerdo con la composición del mortero y la consistencia deseados.

Si el contenido de cemento es alto, las características serán alta resistencia, poco tiempo entre amasado y colocación, mezcla más o menos trabajable y habrá contracción (3%) si está muy seco. Si el contenido de cal es alto, tendrá menos resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será más plástico y permeable, pero mostrará más retracción (expansión de volumen 9%). Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá considerablemente y será poco trabajable pero el mortero tendrá poca retracción. Para lograr las condiciones deseadas debe buscarse una combinación adecuada. Los morteros hechos de cemento portland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento portland, siendo importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria.

### **1.3.2 Usos**

En muchos países existe una amplia tecnología del mortero desarrollada debido a su utilidad en las obras de mampostería estructural, en las cuales se distinguen dos tipos de mortero, el de levantado y el de relleno. El primero es el elemento que une a las unidades de mampostería y el segundo consiste en una mezcla fluida de concreto que se vierte en el interior de los muros con el objeto de aumentar la sección neta resistente del muro y proveer la unión entre la mampostería y el refuerzo (conocido en nuestro medio como grout).

En Guatemala los materiales a utilizar para la elaboración de morteros deben cumplir con las siguientes normas:

- Cemento portland: ASTM C-150 (*Standard specification for portland cement*) y COGUANOR NGO 41 005 (Cemento portland, clasificación y especificaciones).
- Cemento hidráulico mezclado: ASTM C-595 (*Standard specification for blended hydraulic cements*).
- Cemento de mampostería: ASTM C-91 (*Standard specification for masonry cement*).
- Cal hidratada, tipo S: ASTM C-207 (*Standard specification for hydrated lime for masonry purposes*) y COGUANOR NGO 41 018 (Cal hidratada, especificaciones).
- Cal viva: ASTM C-5 (*Standard specification for quicklime for structural purposes*).
- Agregados finos: ASTM C-144 (*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*) y COGUANOR NGO 41 066 (Agregados o áridos, especificaciones de los agregados para morteros de albañilería).
- Agregados gruesos (para morteros de rellenos): ASTM C-404 (*Standard Specification for Aggregates for Masonry Grout*).
- Agua: limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan causar deterioro en los morteros o cualquier refuerzo metálico dentro del muro.
- Aditivos: ASTM C-494 (*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*) y COGUANOR NGO 41 070 (Hormigón, aditivos químicos, especificaciones).
- Aditivos inclusores de aire: ASTM C-260 (*Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete*) y COGUANOR NGO 41 069 (Hormigón, aditivos incorporadores de aire, especificaciones).



#### 1.4 Clasificación de los morteros, según norma ASTM C-270

En cada país la clasificación de morteros esta hecha de acuerdo a propiedades específicas de resistencia a compresión, de acuerdo con las características de los materiales utilizados en su preparación.

La norma ASTM C-270 (*Standard specification for mansory mortar*), clasifica a los morteros de acuerdo a cuatro tipos cuyo nombre se deriva de las palabras inglesas "**Mason Work**", designándolos como M, S, N, O y K. El tipo K se eliminó, dejando los tipos M, S, N y O solamente. Estos pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero no por ambos casos. La especificación por proporción rige siempre que se hace referencia a la norma ASTM C-270 y no se menciona un método específico.

La clasificación del tipo de mortero bajo la especificación de propiedades depende de la resistencia a la compresión, la retención de agua y el contenido de aire (ver tabla IV). Estos requisitos son para especímenes de laboratorio solamente y no para morteros mezclados en obra. Las proporciones de cemento, cal y arena establecidas en el laboratorio para cumplir la norma ASTM C-270 deben ser empleadas al mezclar el mortero en obra. Se asume que las proporciones establecidas en el laboratorio darán un comportamiento satisfactorio en obra.

El mortero especificado por proporción debe cumplir con las masas de los materiales mencionados en la norma ASTM C-270 (ver tablas V y VI). La relación entre la cantidad de material cementante y los agregados es generalmente menor usando la especificación por propiedades que usando la de proporción. Los diseñadores tienden a usar más la especificación por propiedades porque el mortero generalmente resulta ser más barato.

**Tabla IV. Especificación de los morteros por propiedades**

Mortero	Tipo	Resistencia Mínima promedio a compresión a 28 días kg/cm <sup>2</sup> , (Mpa)	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
Cemento-cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor que 2.25 Y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 <sup>a</sup>	
	O	25 (2.4)	75	14 <sup>a</sup>	
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)	75	b	
	S	127 (12.4)	75	b	
	N	53 (5.2)	75	b	
	O	25 (2.4)	75	b	

<sup>a</sup> Cuándo se coloca acero estructural en el mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%.

<sup>b</sup> Cuándo se coloca acero estructural en el mortero de cemento de mampostería, el contenido máximo de aire debe ser 18%.

Fuente: *American Society for Testing and Materials, ASTM C- 270*. Tomo 4.01, Pág. 148

**Tabla V. Especificación de los morteros por proporciones**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen (Materiales cementantes)			Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
		Cemento portland o mezcla de cemento	Cemento De mampostería M S N	Cal hidratada o apagada	
Cemento-cal	M	1	---	¼	No menor que 2.25 Y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	1	---	de ¼ a ½	
	N	1	---	de ½ a ¾	
	O	1	---	de 1 ¼ a 2 ½	
Cemento de mampostería	M	1	-- 1	-	
	M	-	1 --	-	
	S	½	-- 1	-	
	S	-	- 1 -	-	
	N	-	-- 1	-	
	O	-	-- 1	-	

Fuente: American Society for Testing and Materials, **ASTM C-270**. Tomo 4.01, Pág. 147

**Tabla VI. Masa de los materiales del mortero**

Material	Masa (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento portland	1504
Cemento mezclado	peso impreso en el saco
Cemento de mampostería	peso impreso en el saco
Cal hidratada	640
Cal plástica	1280
Arena, húmeda suelta	36.2 kg después de secarse

Fuente: American Society for Testing and Materials, **ASTM C-270**. Tomo 4.01, Pág. 148

## **1.5 Selección del tipo de mortero según su uso**

No existe un solo tipo de mortero que sea aplicable con éxito a todo trabajo. El variar las proporciones mejora algunas propiedades a expensas de otras. El ingeniero o arquitecto deberá especificar el mortero que mejor se ajuste a los requisitos de la obra, una regla práctica es usar el mortero con la resistencia más baja que se ajuste a los requisitos del trabajo, hay un tipo óptimo para cada aplicación o uso.

El tipo M es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros morteros, se utiliza en mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, altas cargas laterales de tierra, vientos fuertes o temblores. Debido a su durabilidad superior, el tipo M debe usarse en estructuras en contacto con el suelo tales como cimentaciones, muros de contención, aceras, tuberías de agua servidas y pozos.

El tipo S alcanza alta resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar, se utiliza para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia, también se utiliza donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos o para pegar baldosas de barro cocido.

El tipo N es un mortero de propósito general a ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno para paredes internas y divisiones. Este mortero de mediana resistencia representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.

El tipo O es un mortero de baja resistencia y mucha cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. El mortero tipo O se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo (ver tabla VII)

**Tabla VII. Guía para seleccionar morteros de mampostería**

Localización	Segmento constructivo	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, sobre el terreno	Paredes de carga	N	S o M
	Paredes sin carga	O	N o S
	parapetos	N	S
Exterior, bajo el terreno	muros de cimentación	S	M o N
	muros de contención		
	Pozos, descargas de aguas negras, pavimentos, aceras y patios		
Interior	Paredes de carga	N	S o M
	Divisiones sin carga	O	N

Fuente: *American Society for Testing and Materials, ASTM C-270. Tomo 4.01, Pág. 155*

## **1.6 Morteros utilizados en Guatemala**

Actualmente en Guatemala la construcción con unidades de mampostería es una de las más populares; a pesar de que el mortero conforma aproximadamente un 15% del volumen total de un muro, es un componente básico para determinar la resistencia a compresión; ya que se diseñan para soportar este tipo de esfuerzos. En los muros de mampostería también se inducen esfuerzos combinados de flexo-compresión y de corte debido a fuerzas de viento o sismo (frecuentes en nuestro medio), cuando estos tienen lugar en la mampostería el mortero juega un papel crucial pues es el encargado de que las unidades trabajen como un elemento estructural monolítico, es por ello que debe prestarse cuidado en la elaboración del mismo.

### **1.6.1 Elaborados en obra**

El mortero fabricado in-situ es más propenso a variaciones en su dosificación, estas afectan la productividad del albañil y la resistencia del mortero, las proporciones más utilizadas en Guatemala varían entre 1:1/8:2 a 1:1:7 (cemento: cal: arena)<sup>3</sup>.

### **1.6.2 Pre-mezclados**

En Guatemala este mortero es producido por algunas empresas que fabrican concreto premezclado, los requerimientos de trabajabilidad, contenido de aire, retención de agua y resistencia a la compresión se solicitan de acuerdo al tipo de mortero según la clasificación presentada en la norma ASTM C-270.

Del mismo modo que el concreto premezclado, este mortero es dosificado y mezclado en una planta y es llevado a la obra en un camión mezclador. El uso de aditivos para prolongar el tiempo de fraguado del mortero, hasta por 72 horas, ha hecho posible esto. El mortero entregado un día puede ser almacenado durante la noche y ser usado de nuevo al siguiente día o hasta el tercer día. Los ensayos recientes muestran que el mortero premezclado tiene mejor control de calidad, mejor trabajabilidad y una resistencia a la compresión más uniforme. Las paredes hechas con él experimentan menos penetración de agua que las hechas con mortero convencional mezclado en sitio<sup>4</sup>.

### **1.6.3 Pre-dosificados**

Estos se diferencian de los anteriores debido a que vienen en sacos, tienen la ventaja de ahorrar tiempo en la mezcla homogénea de los agregados y los materiales aglomerantes, en otros casos los materiales vienen en forma separada; debiendo mezclarse en seco y luego verterse el agua.

En nuestro medio se pueden encontrar para diferentes usos, la mayoría de fabricantes han adoptado la norma ASTM C-270 para clasificarlos, en la mayoría de los casos los fabricantes indican la cantidad de agua necesaria para obtener trabajabilidad, rendimiento y resistencia deseados.





## **2 PROPIEDADES DE LOS MORTEROS**

### **2.1 En estado fresco**

En estado fresco el mortero presenta una serie de propiedades que además de regular su comportamiento, son de gran importancia e incidencia en sus características en estado endurecido.

#### **2.1.1 Trabajabilidad**

Es la propiedad más importante del mortero en estado fresco, en virtud de la influencia que ella ejerce sobre otras propiedades del mismo, se define como el grado de fluidez del mortero fresco que depende fundamentalmente de la fase líquida, contenido y características de los componentes sólidos. Se considera que las propiedades que son afectadas por la trabajabilidad son la consistencia, fluidez, capacidad de retención de agua y tiempo de fraguado.

La trabajabilidad es una característica definida por el albañil, un mortero trabajable debe extenderse con facilidad sobre las unidades de mampostería, adherirse a las superficies verticales, introducirse fácilmente en las juntas, soportar la presión aplicada por el albañil para producir el alineamiento de las unidades y permitir la colocación de éstas sin que ocurran modificaciones posteriores debido a su peso propio. Para su determinación en laboratorio se siguen los procedimientos y especificaciones indicados en la normas COGUANOR NGO 41 003 h4 (Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a la compresión de los morteros usando especímenes cúbicos) y ASTM C-1437 (*Specification for flow table for use in test of hydraulic cement*).

El procedimiento para evaluar la trabajabilidad en campo se describe en la norma ASTM C-780 (*Test method for preconstruction and construction evaluation of mortars for plain and reinforced unit masonry*).

Dentro de los principales factores que pueden afectar la trabajabilidad del mortero, destacan los siguientes: características de la arena (granulometría y forma de las partículas), contenido de cemento utilizado, contenido de cal utilizado, cantidad de aire en la mezcla, cantidad de agua adicionada a la mezcla, uso de aditivos, intensidad y tiempo de mezclado.

### **2.1.2 Retención de agua**

La retentividad o retención de agua es la capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante sollicitaciones externas de absorción o succión por parte de las unidades de albañilería. Esto permite que el mortero mantenga su plasticidad para que las unidades puedan ser cuidadosamente alineadas y niveladas sin romper el enlace,

La retención adquiere mayor importancia cuando las unidades de albañilería utilizadas presentan una alta absorción, como en el caso de los bloques de arena pómez producidos en nuestro medio, afectando la adherencia mortero-unidad.

La especificación de retención mínima que debe presentar un mortero de levantado se establece en la norma ASTM C-1506, (*Standard test method for water retention of hydraulic cement-based mortars and plasters*), la cual permite una retención mínima entre el 72 y 88%.

### **2.1.3 Contenido de Aire**

El aire incluido en un mortero, puede producirse por efectos mecánicos o por medio de la aplicación de aditivos incorporadores de aire. A medida que aumenta el contenido en aire (12-18% según ASTM C-270), mejora la trabajabilidad y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo, de forma contraria, disminuye la resistencia mecánica, la adherencia y la impermeabilidad. Existen varios antecedentes para probar que la adherencia disminuye cuando aumenta el contenido de aire<sup>5</sup>.

### **2.1.4 Masa Unitaria**

Por lo general la densidad o masa unitaria de un material es un indicador de la resistencia del mismo, si se tiene un mortero muy denso es probable que su resistencia sea alta; siendo lo contrario para morteros menos densos. El término densidad significa la relación existente entre la masa de una cantidad dada de mortero y el volumen absoluto que ocupa dicha masa, este es un parámetro fundamental para obtener el contenido de aire atrapado en el mortero.

En los trabajos de graduación de los ingenieros Eduardo Antonio León Pineda y Jorge Mario Morales se observa que la masa unitaria de los morteros cuyas proporciones contienen arena pómez varía entre 1,400 y 1,600 kg/m<sup>3</sup>, la de los morteros cuyas proporciones contienen arena amarilla varía entre 1,500 y 1,700 kg/m<sup>3</sup>, y la de los morteros cuyas proporciones contienen arena de río varía entre 1,850 y 2,200 kg/m<sup>3</sup>. De acuerdo a lo anterior se propone la clasificación mostrada en la tabla VIII, la cual se basa en la masa unitaria del mortero fresco.

**Tabla VIII. Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria**

<b>TIPO DE MORTERO</b>	<b>MASA UNITARIA (kg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Liviano</b>	1,400 - 1,600
<b>Mediano</b>	1,600 - 1,850
<b>Pesado</b>	1,850 - 2,200

### **2.1.5 Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración**

Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque determina el tiempo de fraguado y de endurecimiento del mortero.

La norma COGUANOR NGO 41 017 h12 define los tiempos de fraguado. El tiempo de fraguado inicial es el intervalo de tiempo transcurrido desde el momento en que entraron en contacto el cemento y el agua hasta el momento en que el mortero alcanza una resistencia de penetración de 500 PSI, hasta aquí se considera que el mortero aun puede manipularse, transcurrido este tiempo el mortero comienza a endurecer y se debe evitar reacondicionarlo. El tiempo de fraguado final es el parámetro que indica que el mortero ha endurecido o fraguado completamente y se define como el intervalo de tiempo transcurrido desde el momento en que entraron en contacto el cemento y el agua hasta el momento en que el mortero alcanza una resistencia de penetración de 4,000 PSI<sup>6</sup>.

## **2.2 En estado endurecido**

### **2.2.1 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión generalmente se usa como el principal criterio para seleccionar el tipo de mortero a utilizar en una estructura de mampostería, ya que es fácil de medir y puede relacionarse con otras propiedades como la adherencia y la durabilidad.

Aunque la resistencia a la compresión de los muros puede incrementarse utilizando un mortero más resistente, el aumento no es proporcional a la resistencia a la compresión del mortero, (aumenta sólo 10% cuando la resistencia del mortero aumenta en un 130%<sup>7</sup>).

### **2.2.2 Adherencia**

Es la propiedad más importante del mortero de albañilería en estado endurecido, es también la más inconstante e impredecible. El mortero tiene que desarrollar suficiente adherencia con las unidades de mampostería para resistir los esfuerzos de tracción producidos por: las cargas de la estructura, del terreno, sísmicas y del viento; los cambios de volumen de las unidades y los cambios de temperatura.

Esta propiedad depende principalmente de los siguientes factores:

- Interacción hídrica entre el mortero y la unidad.
- Trabajabilidad del mortero.
- Retención de agua del mortero.
- Componentes del mortero
- Características de las unidades
- Calidad del proceso constructivo
- Condiciones de curado
- Durabilidad

### **2.2.3 Variaciones de volumen**

El mortero experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico-químicas. El tipo y magnitud de las variaciones está afectado por las condiciones ambientales. Se pueden distinguir tres tipos de variaciones de volumen que afectan al mortero:

- Retracción hidráulica, la cual se deriva de las condiciones de humedad
- Retracción térmica, la cual tiene por causa la temperatura
- Retracción, originada por la composición atmosférica (especialmente el anhídrido carbónico).

La retracción se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobretodo en pastas puras con una alta relación agua/cemento.

#### **2.2.4 Resistencia a la tensión**

Aunque la resistencia a la tensión del mortero es baja, es necesario conocerla debido a que en muchas situaciones la mampostería se ve sometida a tensiones diagonales y combinaciones de esfuerzos. Estas situaciones se pueden producir por efectos sísmicos, hundimientos diferenciales o bajo la acción de cargas gravitacionales. La resistencia a la tensión es proporcional a la resistencia a la compresión del mortero, el valor de esta se encuentra entre el 8 y 12% de la resistencia a compresión<sup>8</sup>.

#### **2.2.5 Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión no es un parámetro determinante en el diseño de la mampostería debido a que el mortero es un material frágil cuyo módulo de ruptura al compararlo con la resistencia a compresión es muy bajo, sin embargo en la mayoría de los casos el mortero sirve como elemento de unión entre las unidades de mampostería, haciendo que estas actúen como si fueran un elemento estructural monolítico soportando combinaciones de esfuerzos. A través de la realización de ensayos se ha observado que un mortero de cemento y cal presenta mayor modulo de ruptura que uno de cemento, esto se debe a que la cal da al mortero menor rigidez haciendo que se adapte mejor a los movimientos de las paredes de mampostería<sup>9</sup>.

### **2.2.6 Resistencia al corte**

Ya que el mortero por si solo no se encuentra sometido a esfuerzos cortantes es necesario evaluar secciones de muros (prismas) para observar el comportamiento del mortero ante tales esfuerzos, la resistencia al corte del mortero es proporcional a su adherencia con las unidades de mampostería<sup>10</sup>.

### **2.2.7 Permeabilidad**

Es aquella propiedad del mortero que permite el paso de agua o de otro fluido, a través de su estructura interna.

El agua puede incorporarse en la masa del mortero, y en general en el conjunto mortero unidad, por medio de dos mecanismos o procesos diferentes: presión hidrostática y capilaridad.

Sin embargo, en la gran mayoría de los casos el mortero (en su estructura) es prácticamente impermeable en comparación con la permeabilidad que se produce en algunos tipos de unidades y en la interfase de éstas con el mortero. Por lo tanto, esta propiedad debe estudiarse y analizarse para el conjunto mortero-unidad.

Existen diversos ensayos que pueden utilizarse para medir este parámetro, se pueden mencionar los siguientes:

- El ensayo descrito en la norma ASTM E 514, (*Water Penetration and Leakage through Masonry*), que mide la penetración de agua a un caudal y presión constantes aplicados por medio de una cámara en la superficie del muro.



- El método del tubo karsten<sup>11</sup>, que no ha sido normalizado, y que consiste en la colocación de una pipeta de forma y dimensiones determinadas contra el muro en puntos elegidos de antemano.

### **2.2.8 Durabilidad**

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el mortero de mantener substancialmente sus características originales que permiten su uso, como son su apariencia original, su resistencia y solidez, principalmente frente a la acción del intemperismo.

Los principales factores que influyen en la durabilidad son:

- Eflorescencias.
- Efecto de la congelación.
- Permeabilidad.

Los morteros de alta resistencia a la compresión por lo general tienen buena durabilidad.



### 3 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS EVALUADAS

#### 3.1 En estado fresco

##### 3.1.1 Trabajabilidad

Este método de prueba cubre la determinación del flujo de morteros de cemento hidráulico, o de morteros que contienen materiales cementantes. La trabajabilidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = \sum_{n=1}^4 Ln$$

Donde:

$T$  = Trabajabilidad del mortero expresada en porcentaje.

$L$  = Lectura tomada del medidor de flujo.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41 003 h4 (Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a compresión usando especímenes cúbicos de 51 mm de lado).
- COGUANOR NGO 41 011 (Cementos hidráulicos. Especificaciones de la mesa de flujo para uso en ensayos).
- ASTM C-230 (*Specification for flow table for use in test of hydraulic cement*).
- ASTM C-1437 (*Standard test method for flow of hydraulic cement mortar*).

**Figura 3. Ensayo de trabajabilidad**



### **3.1.2 Retención de agua**

Este método se utiliza para determinar la retención de agua de morteros y enlucidos que utilizan cemento portland.

Este método de prueba provee los medios para determinar la capacidad de retención de agua en morteros y enlucidos bajo succión. Los resultados de la prueba pueden ser utilizados para determinar si el mortero se encuentra bajo especificación.

En morteros de mampostería los resultados de esta prueba no necesariamente indican el grado de retención de agua, cuándo se utilizan con unidades de mampostería, el aumento de agua absorbida por la unidad depende de la proporción de absorción de la unidad de mampostería. En morteros de acabado y recubrimiento los resultados obtenidos al utilizar esta prueba no necesariamente indican el grado de retención de agua cuando el enlucido es aplicado como una segunda capa, el aumento de agua absorbida de la segunda capa del enlucido depende de la proporción de la capa base. La retención se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = (Fa \div Fd) \times 100$$

Donde:

$R$  = Retención de agua expresada en porcentaje.

$Fa$  = Flujo antes de la succión.

$Fd$  = flujo después de la succión.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41 020 h2 (Cal Hidratada. Determinación de la retención de agua).
- ASTM C-110 (*Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime, and limestone*)
- ASTM C-1506 (*Standard test method for water retention of hydraulic cement-based mortars and plasters*).

**Figura 4. Ensayo de retención de agua**



### **3.1.3 Masa unitaria**

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del concreto fresco mezclado (adaptado en el presente estudio para determinar la densidad o masa unitaria del mortero fresco). La masa unitaria o densidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = M \div V$$

Donde:

$\rho$  = Masa unitaria o densidad del mortero.

$M$  = Masa del mortero.

V = Volumen del recipiente que contiene al mortero.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41 017 h5 (Hormigón. Determinación de la masa unitaria, rendimiento y contenido de aire del hormigón recién mezclado).
- ASTM C-138 (*Standard test method for density, yield and air content of concrete*).

### 3.1.4 Contenido de aire

El siguiente método de prueba tiene por objeto establecer el método para la determinación del aire atrapado en morteros preparados de cemento portland y cal hidratada. El propósito es determinar si el aire atrapado en el mortero se encuentra dentro de los límites permisibles descrito en la norma ASTM C 270, de acuerdo a su utilización y exposición a los ciclos de hielo-deshielo.

El contenido de aire se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$dm = (m1 + m2 + m3 + Va) \div (m1 / d1 + m2 / d2 + m3 / d3 + Va)$$

$$A = 100 - mm / 4dm$$

Donde:

dm = Densidad del mortero libre de aire

m1 = Masa del cemento portland en gramos.

m2 = Masa de la cal hidratada en gramos.

m3 = Masa del agregado fino en gramos.

Va = Volumen del agua utilizada en centímetros cúbicos.

d1 = Densidad relativa del cemento.

d2 = Densidad relativa de la cal hidratada.

$d_3$  = Densidad relativa del agregado fino.

A = Aire atrapado, en porcentaje de volumen.

m = Masa de 400 cm<sup>3</sup> de mortero, en gramos.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41 003 h3 (Cementos hidráulicos. Contenido de aire en los morteros).
- COGUANOR 41 020 h4 (Cal hidratada. Determinación del aire atrapado en morteros).
- ASTM C-110 (*Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime, and limestone*).
- ASTM C-185 (*Standard test method for air content of hydraulic cement mortar*).
- ASTM C-270 (*Standard specification for mortar for unit masonry*).

**Figura 5. Ensayo de masa unitaria y contenido de aire**





### 3.1.5 Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración

Este ensayo cubre la determinación del tiempo de secado del concreto, con revenimiento mayor a cero, por medio de la medición de la resistencia a la penetración del mortero tamizado de la mezcla de concreto y para la evaluación de morteros y lechadas. La resistencia a la penetración se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = F \div A$$

Donde:

$P$  = Resistencia a la penetración.

$F$  = Fuerza de presión aplicada mediante el dinamómetro.

$A$  = Área de la aguja utilizada en la penetración

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41017 h12 (Hormigón. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por el método de resistencia a la penetración).
- ASTM C-403 (*Standard test method for time of setting of concrete mixtures by penetration resistance*)

**Figura 6. Ensayo resistencia a la penetración**



## 3.2 En estado endurecido

### 3.2.1 Resistencia a la compresión

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo compresivo de morteros de cemento hidráulico, usando especímenes cúbicos de 2 pulgadas o 50 mm de lado, cuyos resultados pueden ser utilizados para determinar si estos se encuentran de acuerdo a especificaciones. La resistencia a la compresión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C = P \div A$$

Donde:

C = Esfuerzo de compresión.

P = Carga de falla.

A = Área de la cara del cubo de mortero.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41003 h4 (Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a la compresión de los morteros usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado).
- ASTM C-109 (*Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars using 2-in cube specimens*).
- ASTM C-270 (*Standard specification for mortar for unit masonry*).

### Figura 7. Ensayo de compresión



### 3.2.2 Resistencia a la tensión

Este ensayo cubre la determinación del esfuerzo ténsil de morteros de cemento hidráulico, curados en la forma de moldes de briquetas. Este ensayo no es recomendado para morteros, lechadas, y superficies monolíticas que contienen agregados cuyos tamaños sean mayores a ¼ de pulgada. La resistencia a la tensión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$T = P \div A$$

Donde:

$T$  = Esfuerzo de tensión.

$P$  = Carga de falla.

$A$  = Área de la cintura de la briqueta de mortero.

Norma aplicable:

- ASTM C-190 (*Standard test method for tensile strength of hydraulic cement mortars*).

**Figura 8. Ensayo de tensión**



### 3.2.3 Resistencia a la flexión

Este ensayo provee una forma de determinar el esfuerzo flexionante de morteros de cemento hidráulico. Los valores que se determinan mediante este método sirven únicamente como referencia o para propósitos de investigación, no son utilizados para determinar si los morteros cumplen o no con requerimientos de especificaciones.

La resistencia a la flexión se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F = (M \times C) \div I$$

Al sustituir los valores de M, C e I utilizados en este ensayo se obtiene la siguiente ecuación:

$$F = 1.24489 \times P$$

Donde:

$f$  = Esfuerzo de flexión.

M = Momento flexionante, para una barra de mortero simplemente apoyada y con una carga puntual aplicada en el centro de la luz, igual a  $P \times L/4$ ; donde P es la carga aplicada al centro y L la luz (20.4 cm).

C = Distancia medida desde el eje neutro de la barra de mortero hasta su fibra extrema.

I = Inercia de la sección.

Norma aplicable:

- ASTM C-348 (Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars).

### **Figura 9. Ensayo de flexión**





### 3.2.4 Adherencia

El ensayo empleado para la determinación de la adherencia del mortero a las unidades de mampostería fue adaptado del método para la evaluación de esfuerzos de adherencia y fricción en la mampostería, utilizado en la sección de estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos (CII USAC). Para la realización del ensayo se elaboran prismas según lo indica la figura 10. Existen dos criterios para la evaluación de la adherencia del mortero a la unidad de mampostería:

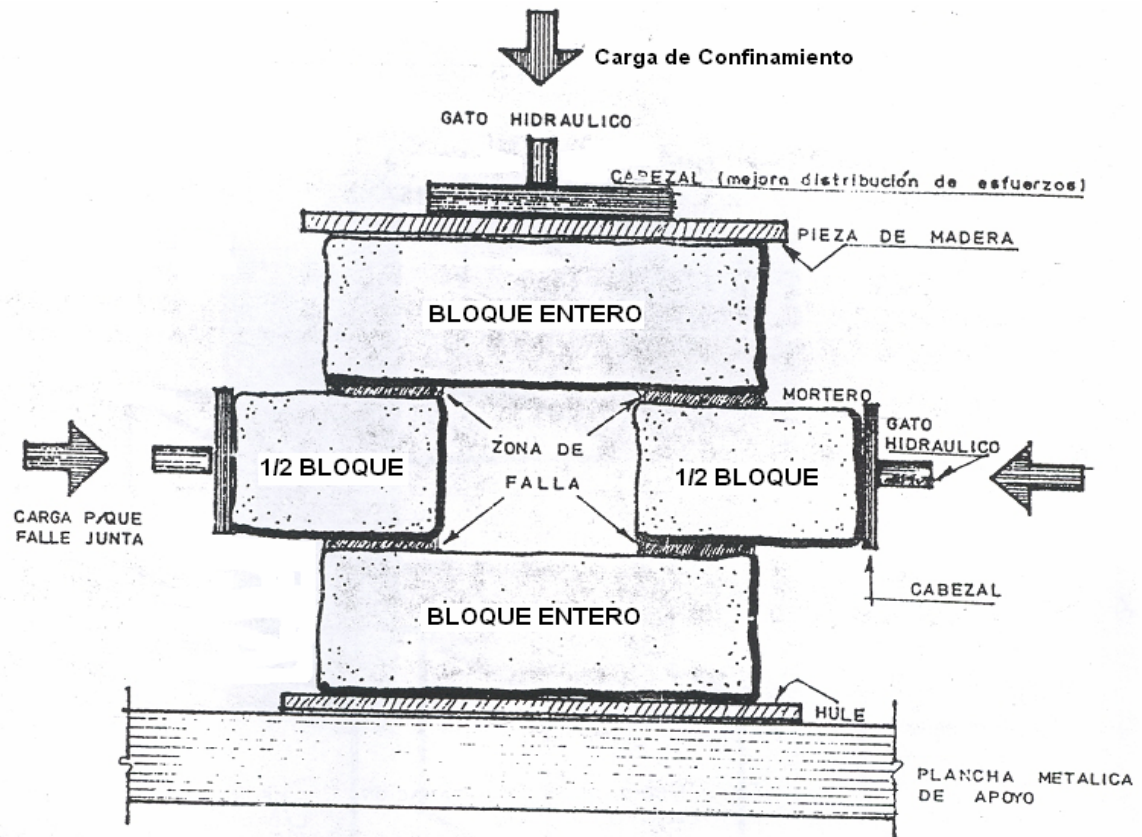
- 1) Para la elaboración de los prismas se pueden utilizar unidades de mampostería cuya resistencia a la compresión sea mayor a la del mortero de unión; esto con el fin de provocar la falla de adherencia en las juntas y poder evaluar únicamente la adherencia del mortero,

- 2) Otro criterio es el de elaborar los prismas con unidades de mampostería cuya resistencia se especifique según los parámetros de cálculo especificados por el ingeniero estructuralista, esto con el fin de evaluar la adherencia del mortero con la unidad de mampostería a emplearse.

En el presente estudio se utilizó el primer método.

**Figura 10. Prisma para ensayo con cargas aplicadas para la evaluación de adherencia entre mortero-unidad de mampostería**





Fuente: Juan Estuardo Nitch Pineda, **Guía de Laboratorio para las practicas de diseño estructural en mampostería**. Pág. 65

Para la realización del ensayo se utilizó el siguiente equipo: (ver figura 11):

- 1 Bomba hidráulica eléctrica.
- 1 Bomba hidráulica manual.
- 1 Juego de mangueras hidráulicas.
- 3 Gatos hidráulicos.
- 1 Marco para la colocación de los prismas.
- 3 planchas metálicas.

**Figura 11. Equipo para la realización del ensayo de adherencia**



Para la realización del ensayo únicamente se aplicaron incrementos de carga horizontal, la carga de confinamiento (carga vertical) fue aplicada una sola vez de manera que el prisma de ensayo no se moviera de su posición inicial al estar aplicando carga horizontal, esto debido a que el parámetro a evaluar es la adherencia y no la adherencia-fricción de los morteros a las unidades de mampostería (ver figura 10).

El procedimiento para la realización del ensayo es el siguiente:

- Se colocan los aparatos y el prisma.
- Se aplica carga horizontal hasta notar falla inicial (si la hubiera), se sigue aplicando carga hasta que ocurre la falla final.
- Se evalúan cinco prismas.
- Es necesario hallar la fuerza puntual originada por dicha presión, despejando la fuerza de la ecuación de presión donde se obtiene la siguiente expresión:

$$P = Pr \div Ae$$

Donde:

P = Fuerza puntual provocada por los gatos hidráulicos.

Pr = Presión ejercida por los émbolos de los gatos hidráulicos.

Ae = Área del embolo del gato hidráulico igual a 13.35 cm<sup>2</sup>.

- Para hallar el esfuerzo de adherencia se divide la fuerza puntual P entre el área de contacto A que tiene el mortero con la unidad de mampostería (para este caso 4 veces el espesor de la pared del bloque por la longitud de la junta mortero unidad del prisma), este se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E = P \div A$$

Donde:

E = Esfuerzo de adherencia.

A = Área de contacto que tiene el mortero con la unidad de mampostería

### 3.2.5 Cambios de longitud

Este método cubre la determinación de los cambios de longitud del mortero de cemento y del hormigón debidos a causas distintas de la aplicación de fuerzas externas y a cambios de temperatura. Es un método bastante restrictivo, y por lo tanto, puede ser usado como base para ensayos de aceptación o rechazo; si se desea, también puede adaptarse fácilmente para realizar estudios de cambios de volumen, empleando tratamientos ambientales diferentes de los indicados en el presente método. El cambio de longitud se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L = [(L_f - L_o) \div L_o] \times 100$$

Donde:

$L$  = Cambio de longitud expresada en porcentaje.

$L_o$  = Longitud inicial de la barra, medida 24 horas después de fundida.

$L_f$  = Longitud de la barra, medida a determinada edad.

Normas aplicables:

- COGUANOR NGO 41017 h3 (Hormigón. Determinación del cambio de longitud del mortero de cemento y del hormigón endurecido).
- COGUANOR NGO 41058 (Cementos hidráulicos y hormigón. Aparatos para mediciones de cambios de longitud de hormigón, mortero y pasta de cemento endurecidos).
- ASTM C-490 (*Standard practice for determination of length change of hardened cement paste, mortar and concrete*).
- ASTM C-1038 (*Standard Test Method for Expansion of Hydraulic Cement Mortar Bars Stored in Water*).

**Figura 12. Ensayo de cambio de longitud**



### 3.2.6 Permeabilidad al agua

Se seleccionó un método alternativo que evaluara la permeabilidad a morteros de acabado y levantado propuestos, este método es el ideado a principios de los años sesenta por el ingeniero alemán *Rudolf Karsten*, el cual consiste en un tubo de vidrio transparente graduado en ml, de modo que 1 ml corresponde a 1 cm de altura de columna de agua, con una base circular de 2,5 cm de diámetro. Existen dos versiones, una para efectuar mediciones en condiciones verticales y para superficies horizontales, la cual se emplea casi exclusivamente en el laboratorio (ver figura 13)<sup>12</sup>.

**Figura 13. Tubo karsten para condiciones verticales**



Para la realización del ensayo se fija la base circular del tubo karsten a la superficie del muro a evaluar por medio de una masilla plástica o silicona. Una vez instalado, se vierte agua en él, según sea la altura de la columna de agua que se desea dentro del tubo, se ejercerá sobre la superficie del substrato una presión que equivale al efecto de intensidad de lluvia acompañada de vientos cuya velocidad es posible calcular empleando la siguiente fórmula<sup>13</sup>:  $v \text{ [m/s] } = (1.600 \times q)^{0.5}$ , en la cual la presión  $q$  se expresa en  $[\text{KN/m}^2]$ . Considerando que 1cm de altura de columna de agua corresponde a una presión de 0,098  $\text{kN/m}^2$  (ver tabla IX).

**Tabla IX. Relaciones velocidad del viento-altura en columna de agua**

**para el ensayo karsten**

<b>Velocidad del viento (km/h)</b>	<b>Altura de columna de agua (cm)</b>
50	2
100	5
140	9.5

La cantidad de agua absorbida por unidad de tiempo por parte de un substrato poroso se mide directamente, efectuando la lectura en la escala que posee el tubo karsten. Si la absorción es alta, se recomienda rellenar el tubo una vez que la columna de agua ha descendido 1 cm, con el fin de mantener una presión más o menos constante. Generalmente, el tubo se llena con agua hasta que el nivel superior de éste alcance una altura de 5 cm la que equivale a la presión ejercida por lluvias con vientos que poseen una velocidad de 100 km/h. Las alturas de columna de agua superiores representan velocidades de vientos que prácticamente nunca se producen en la mayor parte del territorio guatemalteco. Como criterio general, es preciso efectuar un mínimo de 10 mediciones sobre el muro analizado, de este modo es posible obtener resultados apropiados, ya que la superficie del área de la base circular del tubo karsten es reducida (aprox. 5 cm<sup>2</sup>).

La permeabilidad de los morteros estudiados se evaluó a una edad de 28 días de aplicados, esto debido a que las características de resistencia que presenta el mortero a tal edad son utilizadas como parámetros de diseño, otro aspecto considerado fue la velocidad del viento la cual oscila entre 80 a 100 km/h para el valle de la ciudad capital de Guatemala y supera estos valores en las planicies del altiplano y la costa sur; llegando a velocidades de hasta 125 km/h, por esta razón se definen las condiciones de los ensayos.

**Figura 14. Ensayo de permeabilidad**





**Figura 15. Ensayo de permeabilidad, junta mortero-unidad**





## **4 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-**

## MECÁNICAS DE LOS MORTEROS PROPUESTOS

### 4.1 Descripción del estudio

El presente estudio se basa en el uso amplio de los morteros en Guatemala como materiales que sirven de unión entre unidades de mampostería, resanantes; enlucidos o acabados de muros y superficies, cuyo fin es el de aprovechar los materiales que proporciona la geología de nuestro medio.

El estudio fue efectuado a morteros de sabieta, repello y cernido, para ello se realizó una investigación de campo en la cual se obtuvieron las proporciones volumétricas más utilizadas en nuestro medio para la elaboración de dichos morteros (ver tabla X).

**Tabla X. Proporciones volumétricas utilizadas en Guatemala para la elaboración de morteros de sabieta, repello y cernido.**

<b>Mortero</b>	<b>Proporción volumétrica</b>			<b>Tipo de Agregado fino</b>
	<b>Cemento</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Cal</b>	
<b>Sabieta</b>	1	3	1/4	Arena triturada
<b>Repello</b>	1/10	3	1	Arena amarilla
<b>Cernido</b>	1/10	3	1	Arena pómez

Debido a que el objetivo de realizar este estudio es el de evaluar la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de estos morteros, se han cambiado las proporciones de cal por las de cemento con el propósito de obtener otros tres morteros y poder así comparar dichas propiedades (ver tablas XI y XII)

**Tabla XI. Proporciones volumétricas de morteros evaluados**

MORTERO	Proporción volumétrica			Tipo de agregado fino
	Cemento	Agregado fino	Cal	
Sabieta	1	3	0	Arena triturada
Sabieta-cal	1		1/4	
Repello	1	3	1/10	Arena amarilla
Repello-cal	1/10		1	
Cernido	1	3	1/10	Arena pómez
Cernido-cal	1/10		1	

**Tabla XII. Proporciones en masa para la elaboración de una bachada de mortero**

Tipo de Mortero	Denominación	Proporción en masa por bachada			Tipo de Agregado fino
		Cemento (gr)	Agregado fino (gr)	Cal (gr)	
Levantado	Sabieta	374.4	1,804.4	0	triturado
	Sabieta-cal	374.4		55.6	
Acabado	Cernido	374.4	1,146.9	22.2	pómez
	Cernido-cal	37.4		222.4	
Recubrimiento	Repello	374.4	1,226.1	22.2	Arena amarilla
	Repello-cal	37.4		222.4	

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Agregados<sup>14</sup>

Estos fueron evaluados en el laboratorio de concretos del CII USAC, de acuerdo a normas aplicables (ver tablas XIII y XIV).

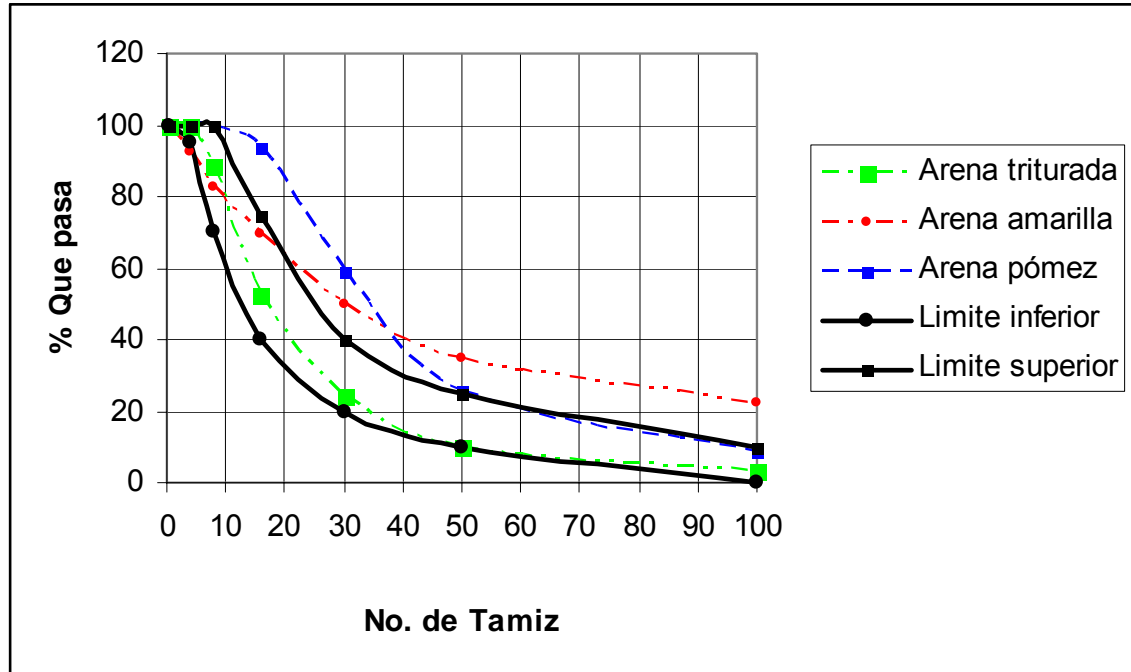
**Tabla XIII. Características físicas de los agregados finos**

Propiedad	Arena triturada	Arena amarilla	Arena pómez
<b>Peso específico:</b>	2.68	1.98	2.04
<b>Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>):</b>	1679.74	1211.40	1136.26
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>):</b>	1271.02	1160.04	1053.00
<b>Porcentaje de vacíos:</b>	37.32	38.82	44.30
<b>Porcentaje retenido Tamiz 6.35:</b>	0.00	12.84	0.00
<b>Porcentaje pasa tamiz 200:</b>	2.16	19.12	8.46
<b>Porcentaje de absorción:</b>	0.38	6.74	3.20
<b>Materia Orgánica:</b>	3	3	2

**Tabla XIV. Distribución granulométrica de los agregados finos**

Tamiz No.	% Pasa			Límites granulométricos ASTM C-144	
	Arena triturada	Arena amarilla	Arena pómez	inferior	superior
<b>3/8</b>	100	100.00	100	100	100
<b>4</b>	100	92.30	100	95	100
<b>8</b>	88.73	82.72	100	70	100
<b>16</b>	52.38	69.48	93.92	40	75
<b>30</b>	24.19	49.62	59.34	20	40
<b>50</b>	9.97	34.78	25.88	10	25
<b>100</b>	3.16	22.38	8.78	0	10

**Figura 16 Distribución granulométrica de los agregados finos**



#### 4.2.2 Bloques utilizados para la elaboración de prismas<sup>15</sup>

Los prismas evaluados fueron hechos con bloques de la fábrica “Inmobiliaria la Roca” de 35 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia, fueron evaluados en la sección de metales y productos manufacturados del CII USAC de acuerdo a la norma COGUANOR NGO 41054, (ver tabla XV).

**Tabla XV. Características físico-mecánicas promedio de los bloques**

BLOQUE	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Masa (kg)	Absorción (%)	Resist. a la compresión 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Dens. (kg/m <sup>3</sup> )
Mitad	18.9	14.0	18.8	6.3	6.2	66.5	2122.2
Entero	39.0	14.0	18.8	12.5	6.5	70.5	2178.9

#### 4.2.3 Morteros<sup>16</sup>

##### 4.2.3.1 Trabajabilidad

Tabla XVI. Trabajabilidad (110 ± 5)

<b>MORTERO</b>	<b>Relación agua/aglomerante (aglomerante=cemento +cal)</b>	<b>Trabajabilidad promedio (%)</b>
<b>Sabieta Cal</b>	0.85	107.5
<b>Sabieta</b>	0.94	108.0
<b>Cernido Cal</b>	2.13	109.0
<b>Cernido</b>	1.21	110.5
<b>Repello Cal</b>	2.16	105.0
<b>Repello</b>	1.30	108.5

##### 4.2.3.2 Retención de agua

Tabla XVII. Retención de agua

<b>MORTERO</b>	<b>Retención de Agua (%)</b>
<b>Sabieta Cal</b>	77.3
<b>Sabieta</b>	50.0
<b>Cernido Cal</b>	79.3
<b>Cernido</b>	55.6
<b>Repello Cal</b>	88.4
<b>Repello</b>	72.4

#### 4.2.3.3 Masa unitaria

Tabla XVIII. Masa unitaria

MORTERO	Masa unitaria (kg/m <sup>3</sup> )
Sabieta Cal	2,186.0
Sabieta	2,185.0
Cernido Cal	1,679.0
Cernido	1,768.0
Repello Cal	1,566.0
Repello	1,645.0

#### 4.2.3.4 Contenido de aire

Tabla XIX. Contenido de aire

MORTERO	Densidad del mortero libre de Aire (kg/m <sup>3</sup> )	% Aire Atrapado en volumen
Sabieta Cal	2,206.0	0.93
Sabieta	2,209.0	1.12
Cernido Cal	1,682.0	0.13
Cernido	1,795.0	1.51
Repello Cal	1,625.0	3.61
Repello	1,716.0	4.16

**4.2.3.5 Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración**

**Tabla XX. Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración**

Tiempo (min.)	Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> )					
	SABIETA CAL	SABIETA	CERNIDO CAL	CERNIDO	REPELLO CAL	REPELLO
120	9.00	12.37	2.39	3.37	0.84	5.34
150	10.97	13.22	2.81	4.36	1.12	8.44
180	13.50	14.91	3.37	4.92	2.25	14.06
210	19.69	17.44	3.87	5.62	3.23	17.86
240	23.06	31.22	4.71	8.44	5.77	29.53
270	26.72	44.29	5.27	13.64	7.31	36.56
300	40.07	63.27	5.76	18.84	9.56	52.73
330	49.92	111.09	6.18	21.09	10.69	67.49
360	92.81	150.46	6.47	26.71	13.64	93.51
390	139.21	210.92	6.89	35.15	14.62	108.27
420	149.05	286.85	7.31	45.70	16.31	127.96
450	205.29	359.97	7.73	61.17	18.84	161.71
480	236.23	-	8.01	73.20	23.06	191.23
510	314.98	-	8.99	99.84	26.44	250.29
540	351.53	-	9.28	126.55	27.56	368.41
570	-	-	10.41	163.11	30.09	
600	-	-	-	-	33.74	
630	-	-	-	-	45.70	
Fraguado inicial (min.)	216.00	241.00	887.00	333.00	491.00	221.00
Fraguado final (min.)	438.00	422.00	1580.00	569.00	788.00	442.00



Figura 17. Comportamiento velocidad de endurecimiento sabieta-cal

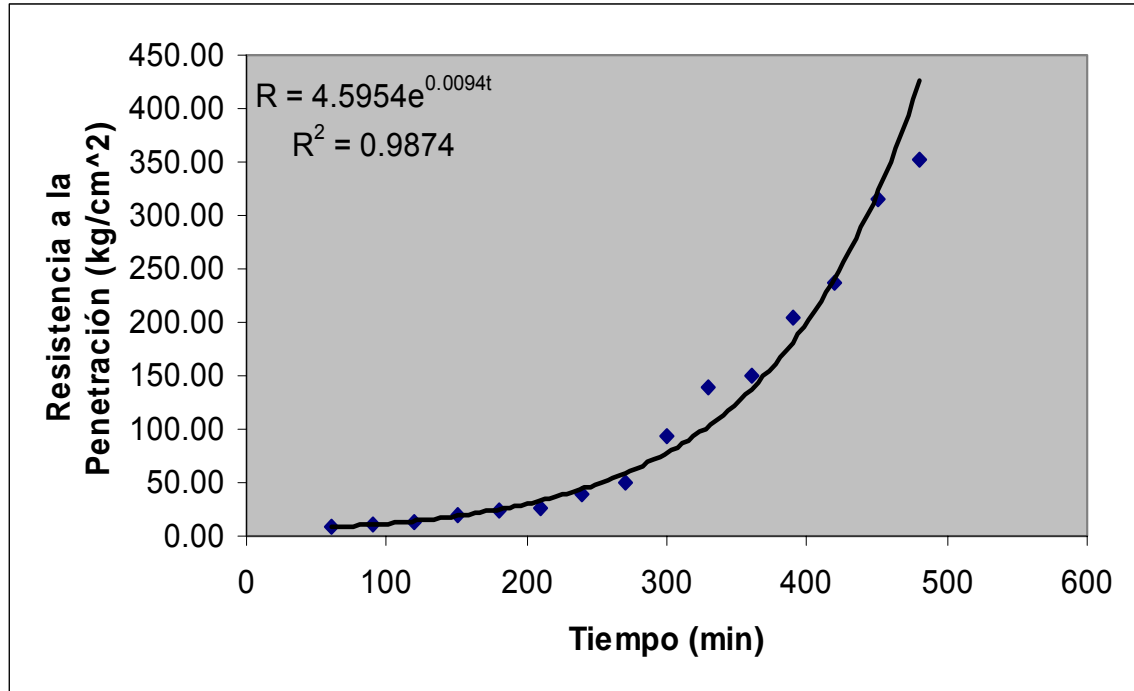


Figura 18. Comportamiento velocidad de endurecimiento sabieta

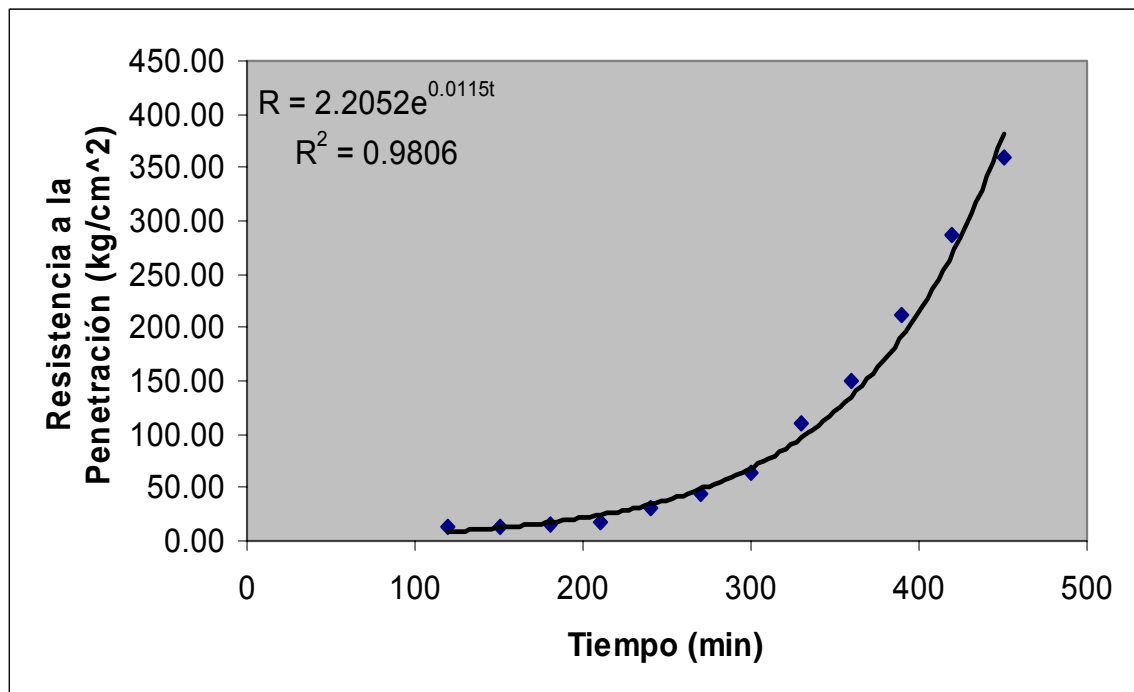


Figura 19. Comportamiento velocidad de endurecimiento cernido-cal

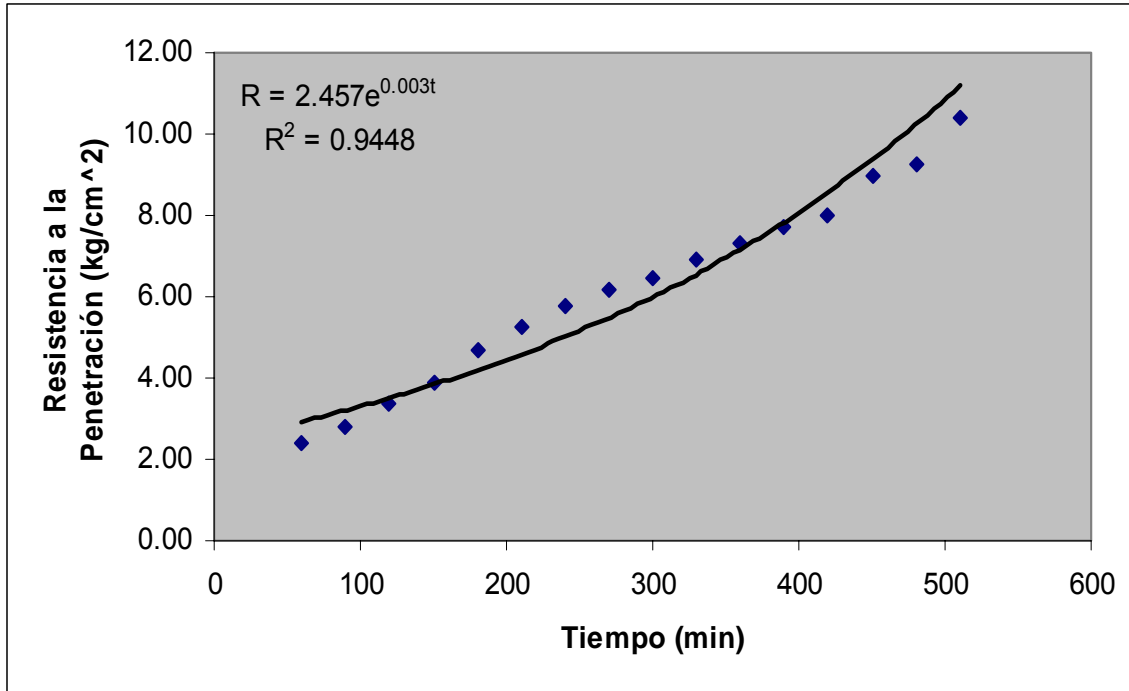
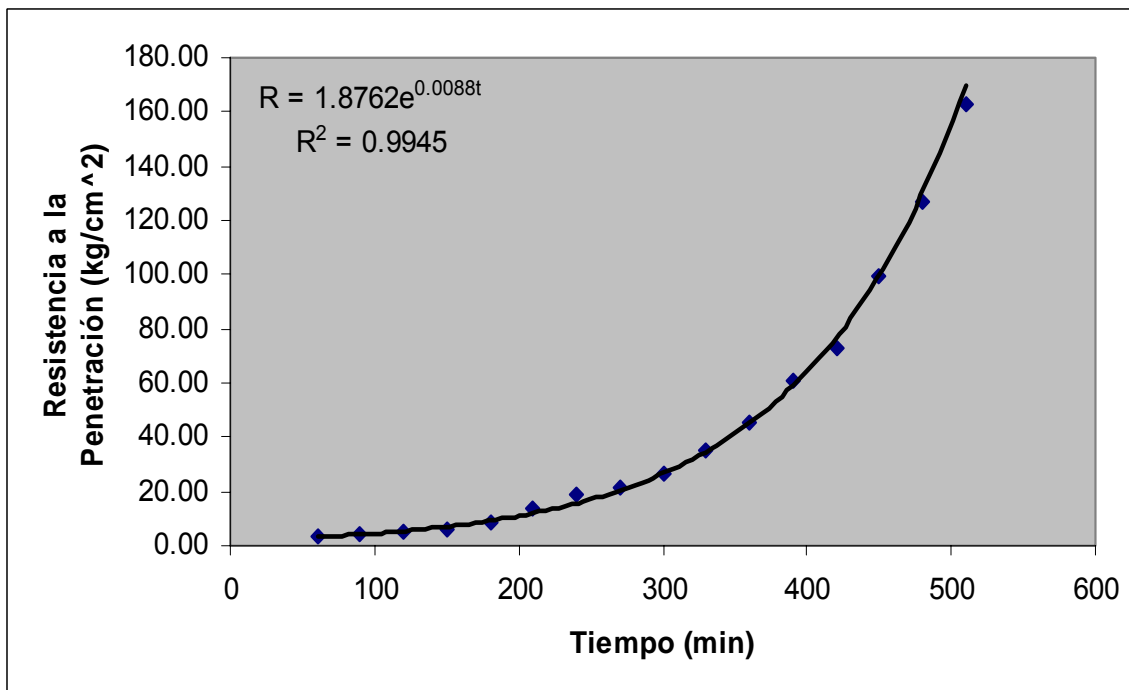


Figura 20. Comportamiento velocidad de endurecimiento cernido



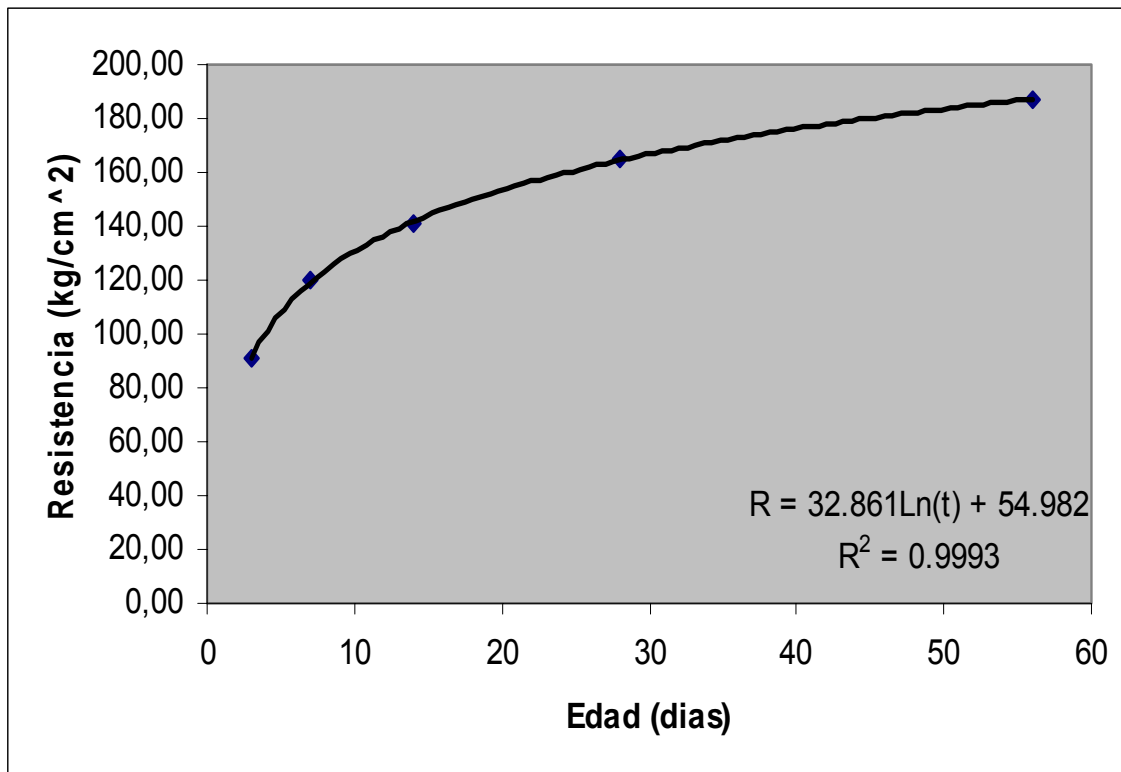


#### 4.2.3.6 Resistencia a la compresión

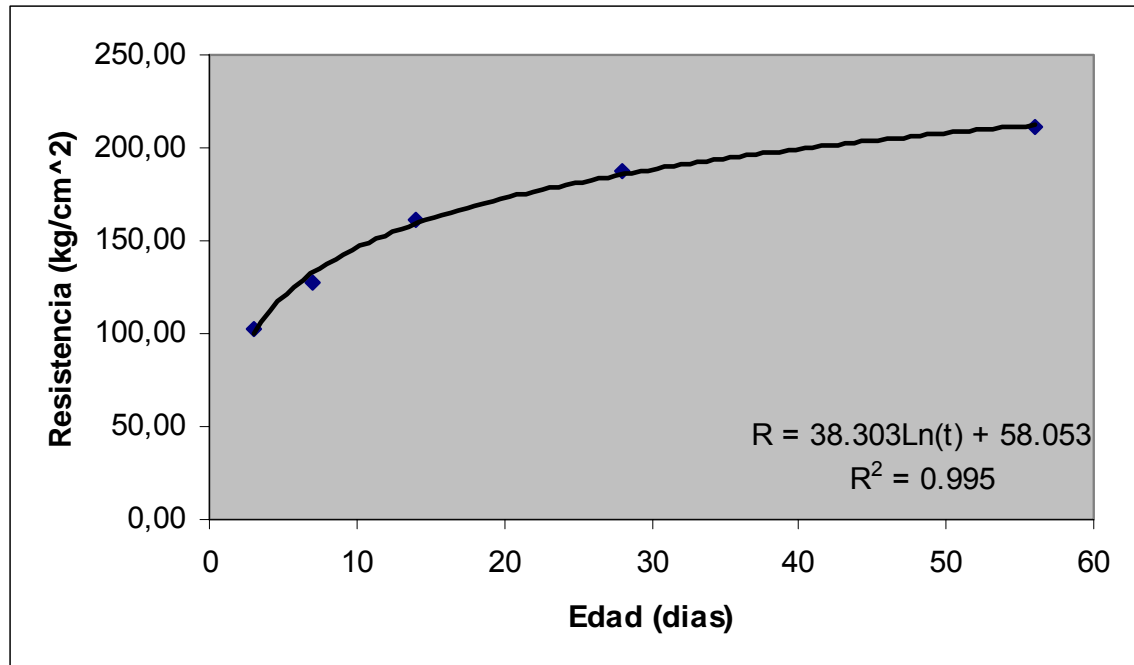
Tabla XXI. Resistencia a la compresión

Edad (Días)	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
3	90.5	102.0	5.0	51.6	8.8	72.1
7	120.4	127.7	6.0	65.9	27.2	134.5
14	140.6	161.7	7.2	77.5	38.1	150.0
28	164.7	187.5	8.3	89.1	64.6	206.1
56	187.3	210.9	9.3	135.3	83.4	252.0

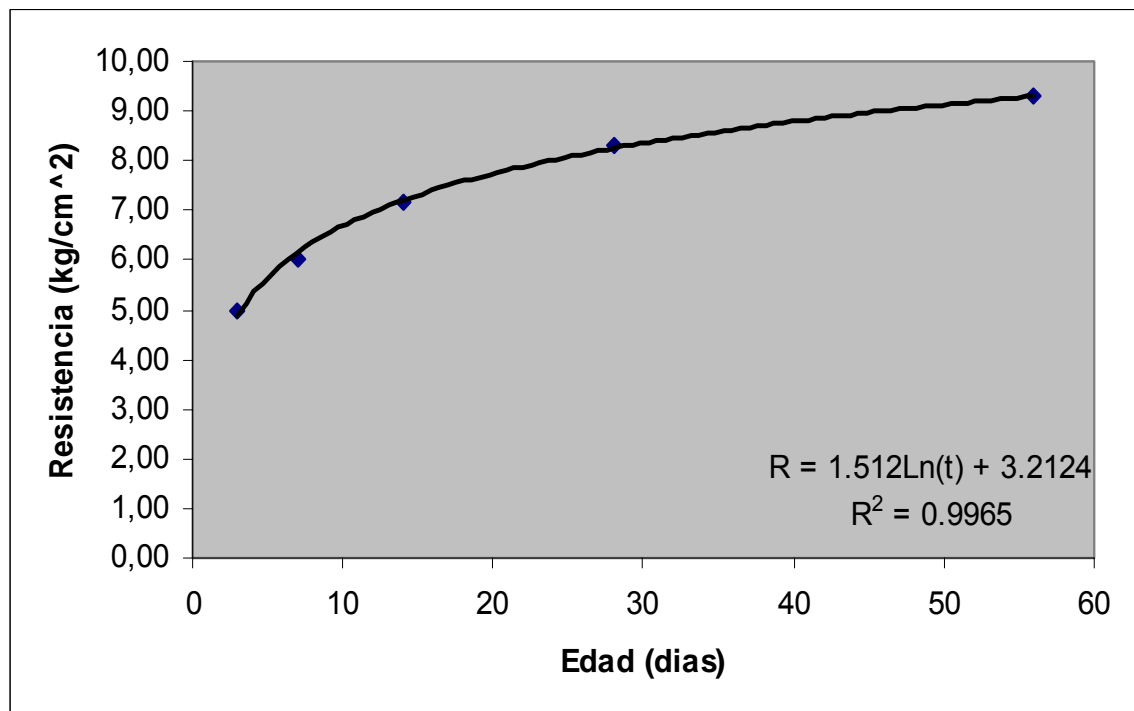
Figura 23. Comportamiento resistencia a la compresión sabieta-cal



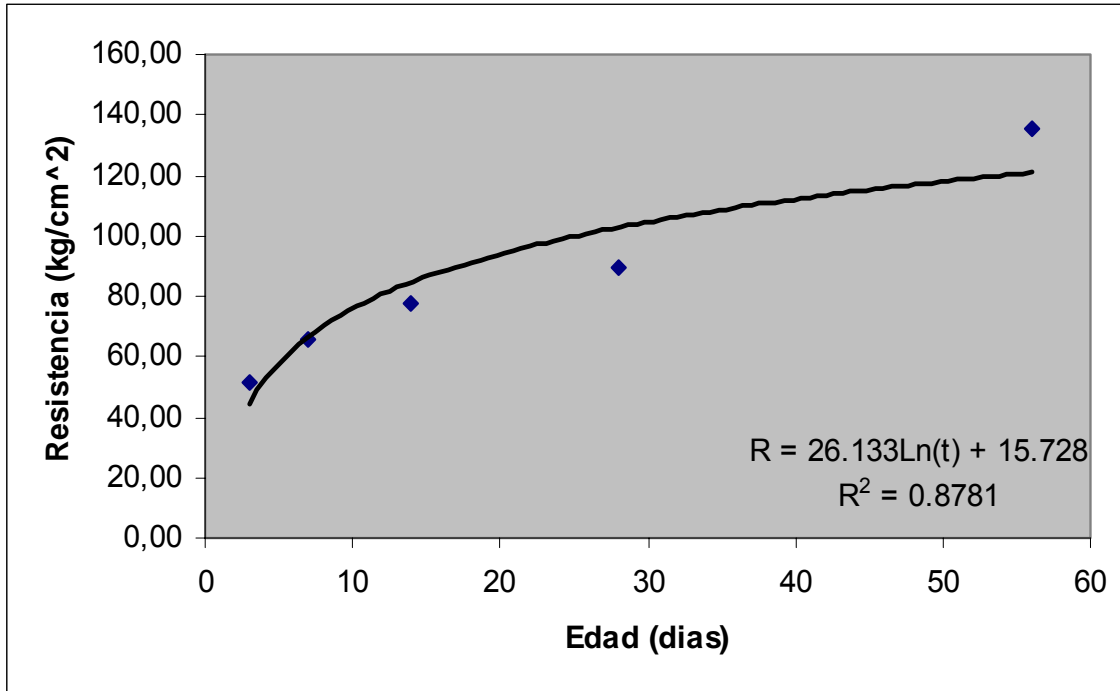
**Figura 24. Comportamiento resistencia a la compresión sabieta**



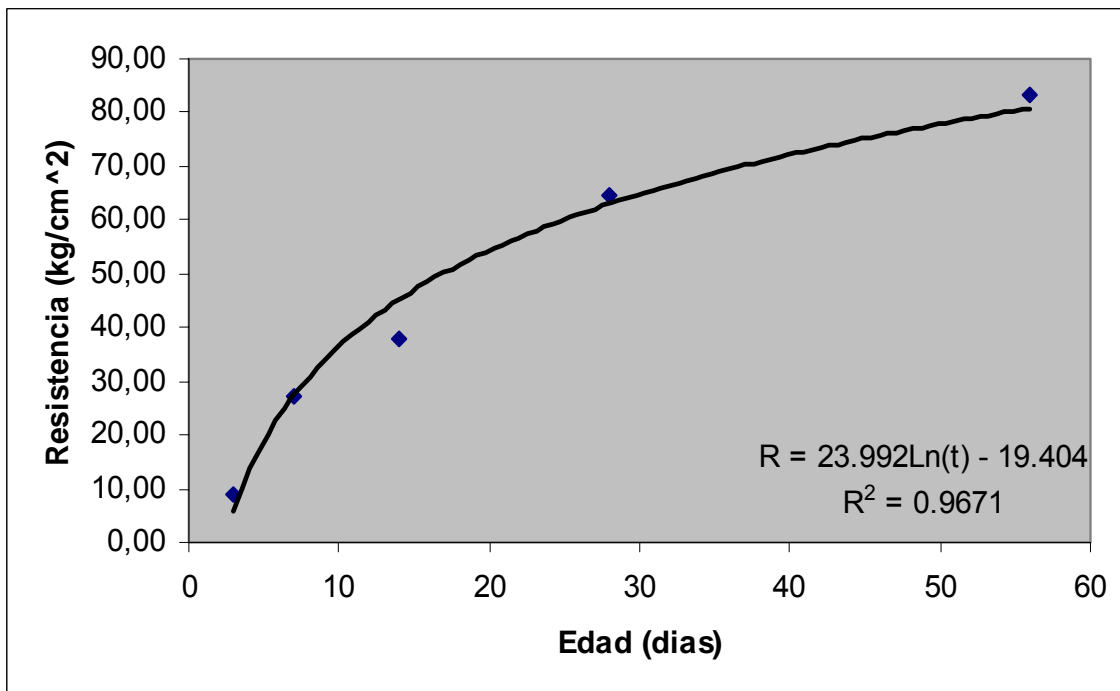
**Figura 25. Comportamiento resistencia a la compresión cernido-cal**



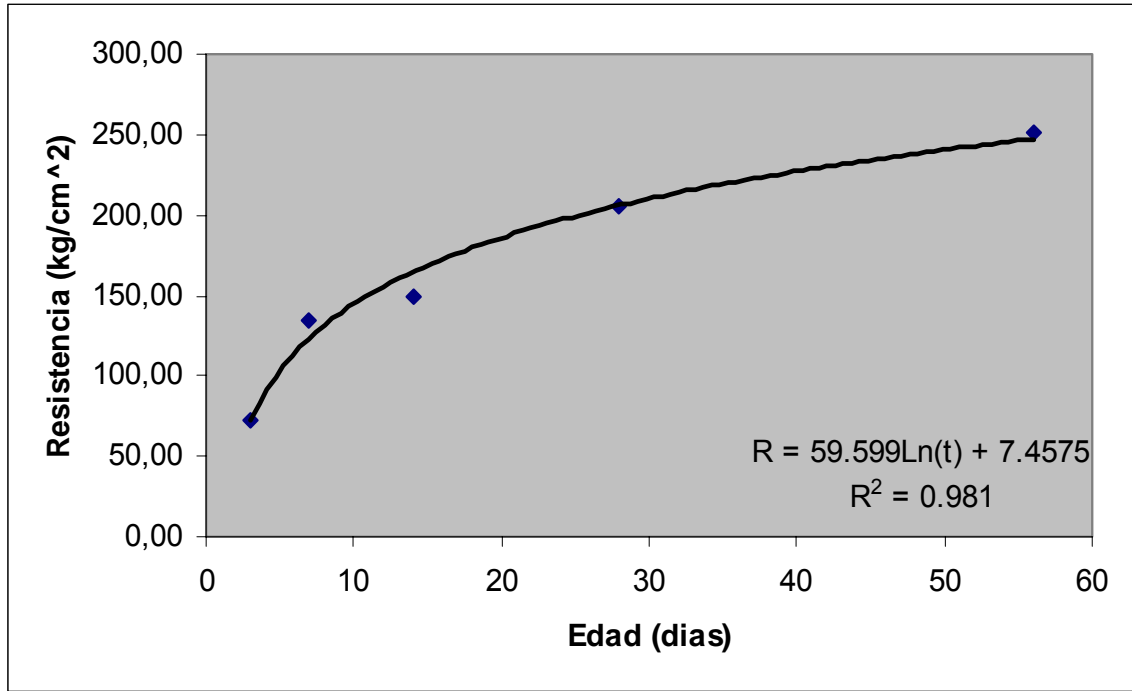
**Figura 26. Comportamiento resistencia a la compresión cernido**



**Figura 27. Comportamiento resistencia a la compresión del repello-cal**



**Figura 28. Comportamiento resistencia a la compresión del repello**

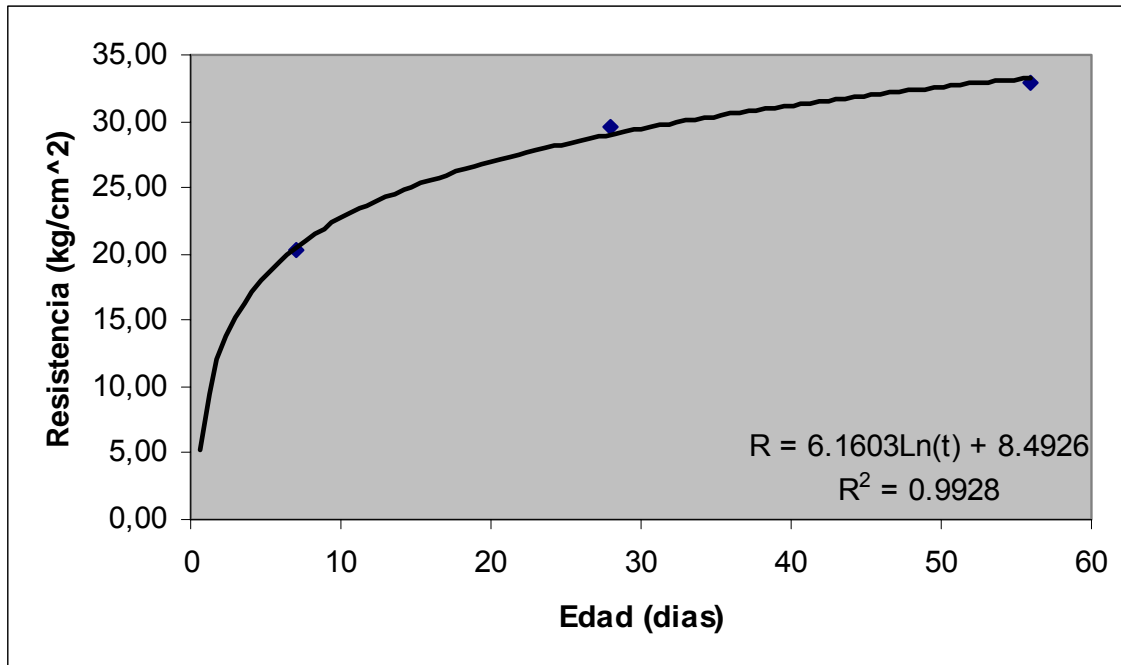


#### 4.2.3.7 Resistencia a la tensión

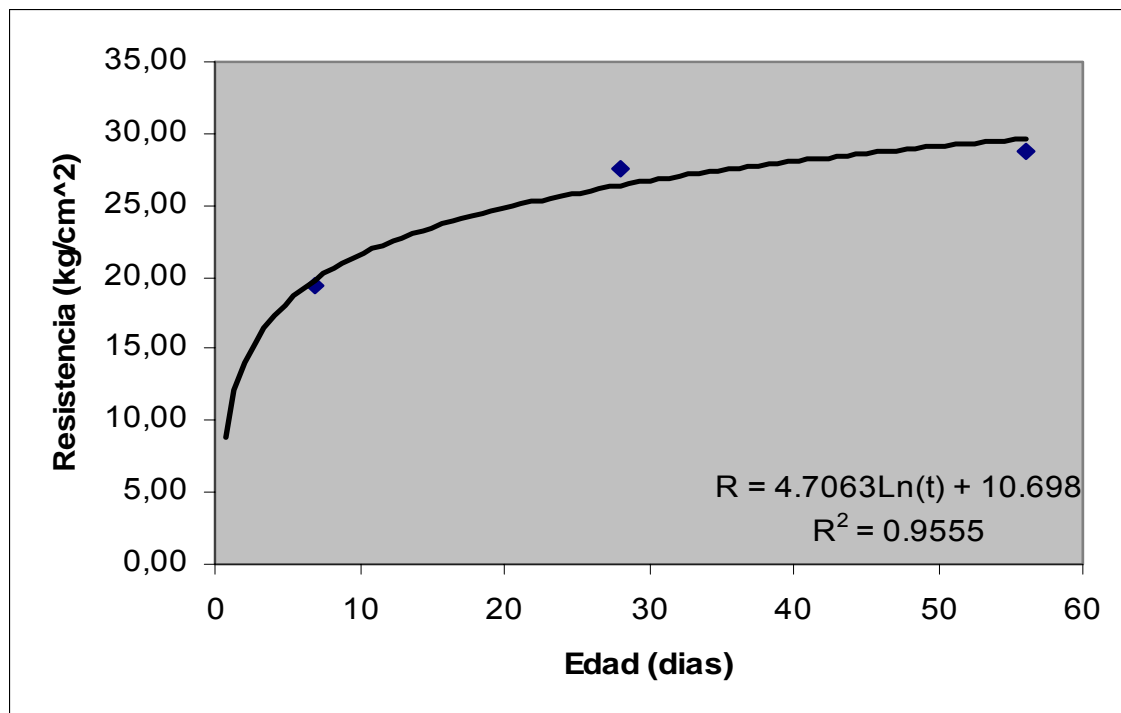
**Tabla XXII. Resistencia a la tensión**

Edad (Días)	Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
7	20.3	19.5	4.2	13.4	5.2	13.5
28	29.7	27.6	6.7	20.6	8.8	22.2
56	32.9	28.8	7.4	24.1	9.1	27.0

**Figura 29. Comportamiento resistencia a la tensión de la sabieta-cal**

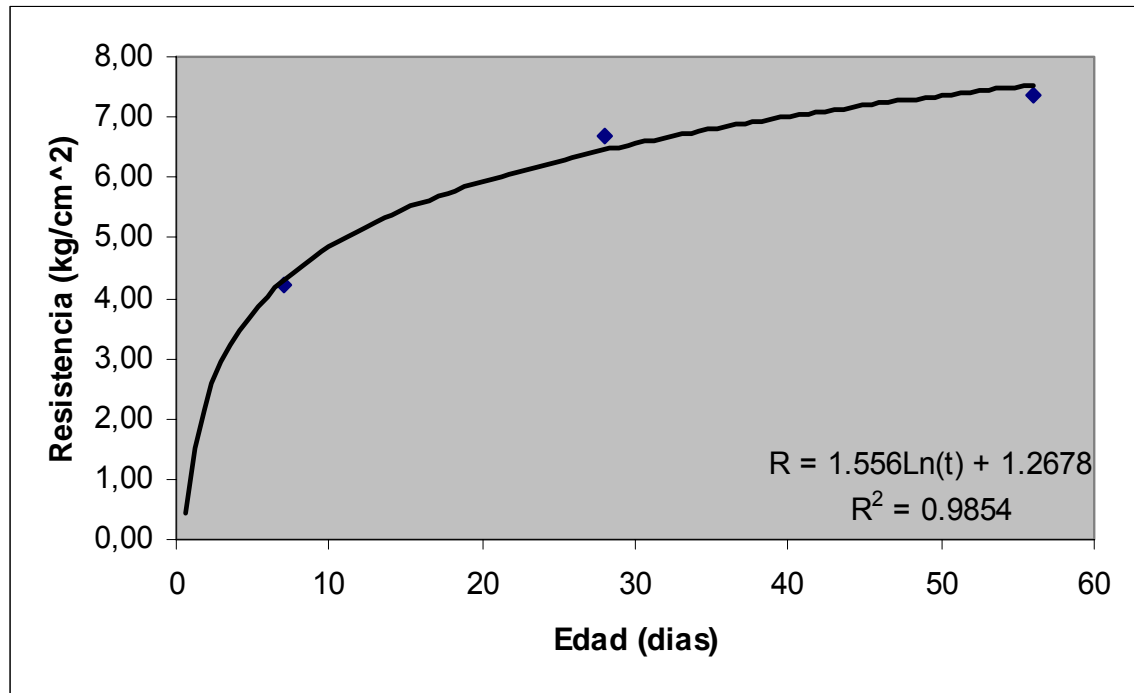


**Figura 30. Comportamiento resistencia a la tensión de la sabieta**

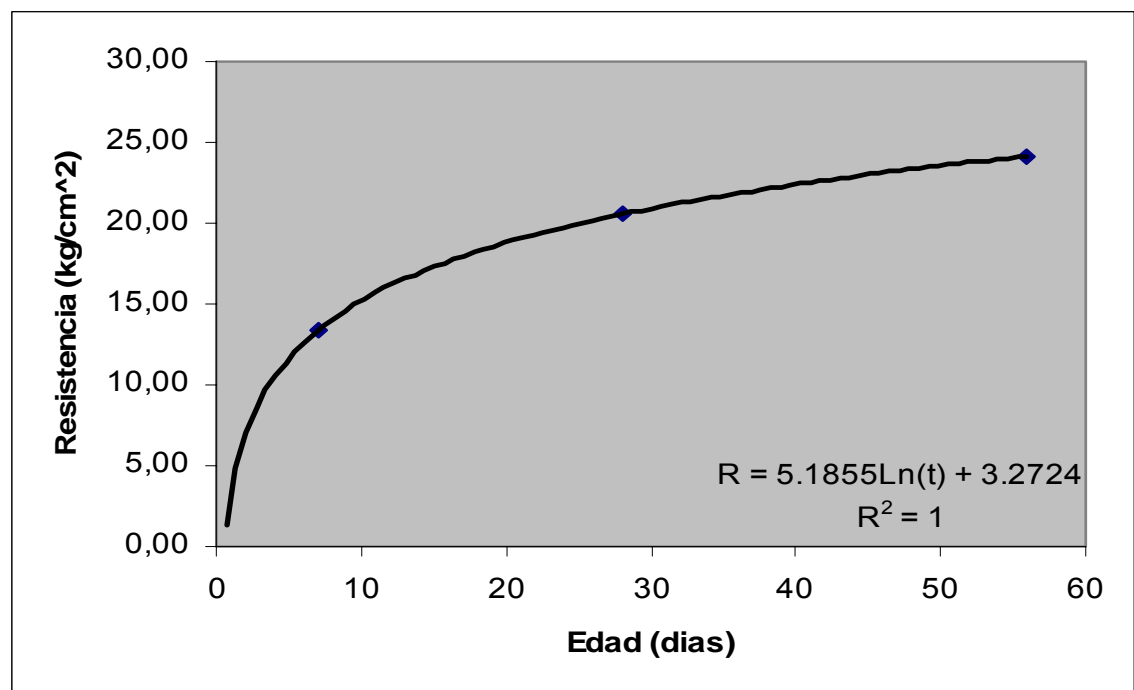




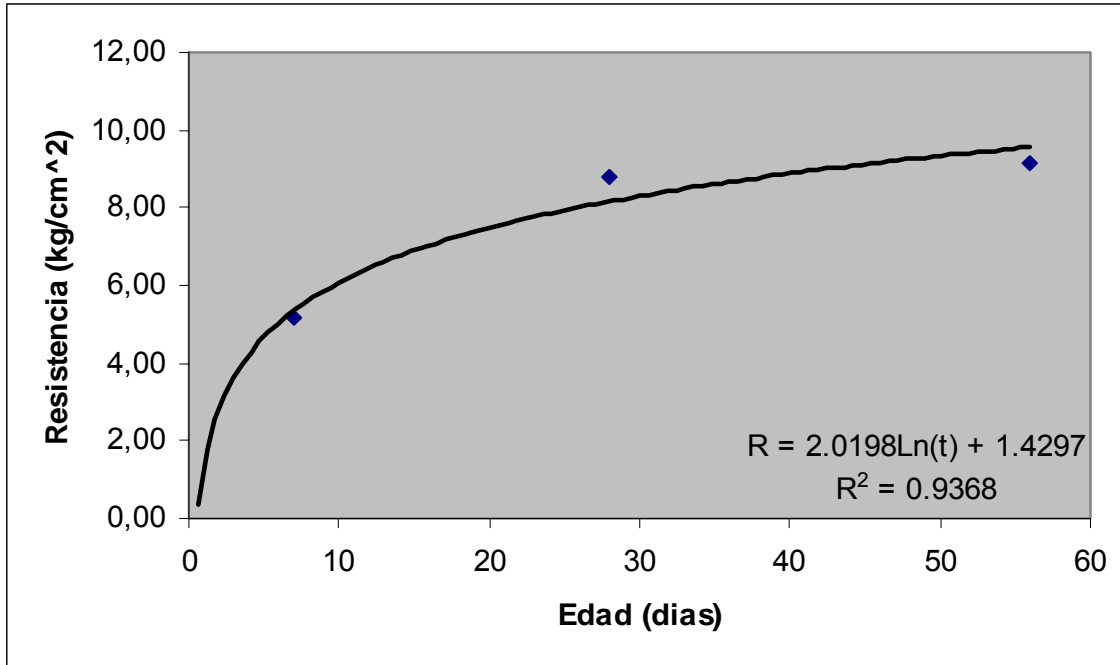
**Figura 31. Comportamiento resistencia a la tensión del cernido-cal**



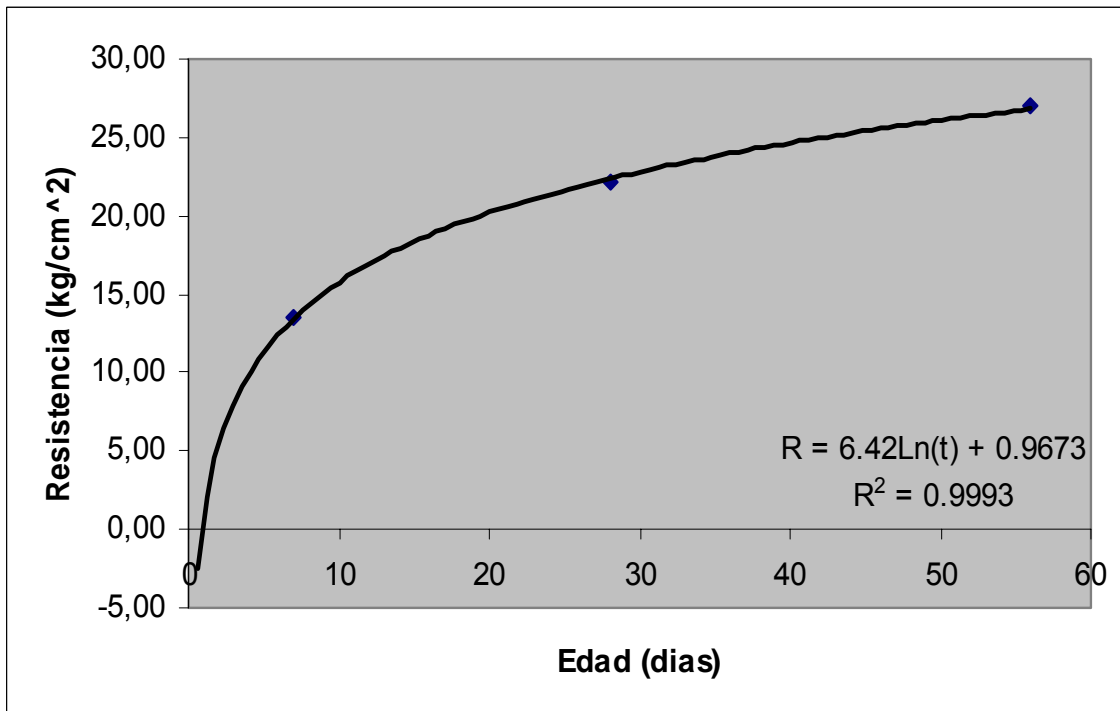
**Figura 32. Comportamiento resistencia a la tensión del cernido**



**Figura 33. Comportamiento resistencia a la tensión del repello-cal**



**Figura 34. Comportamiento resistencia a la tensión del repello**

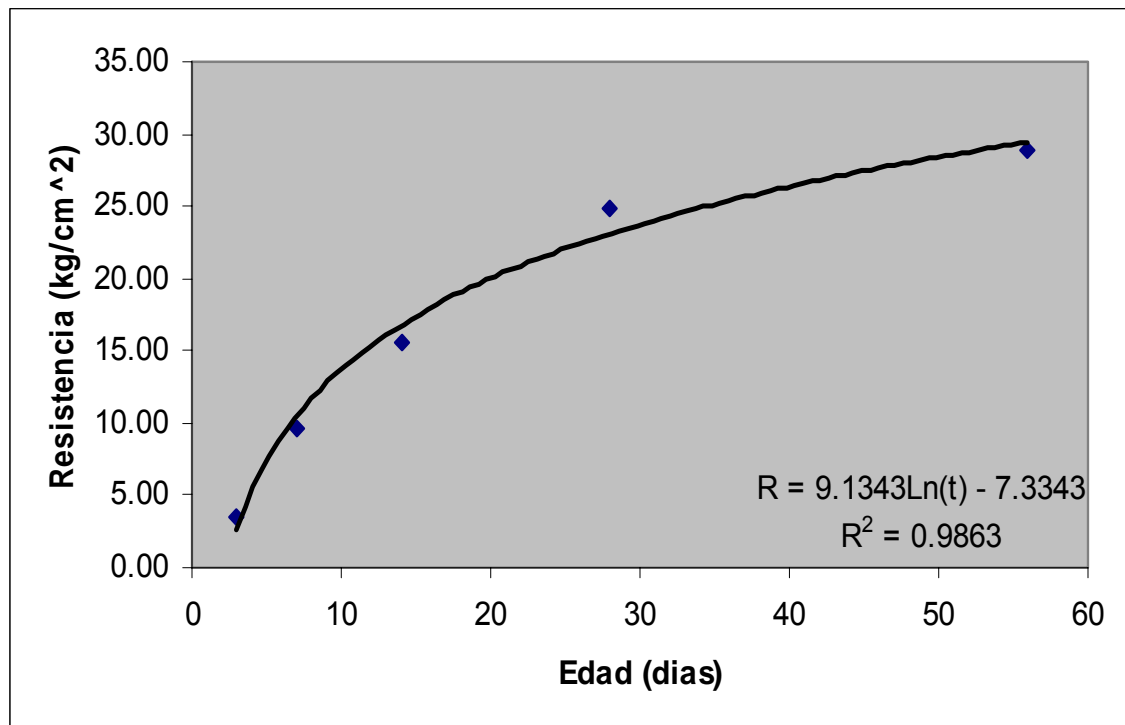


#### 4.2.3.8 Resistencia a la flexión

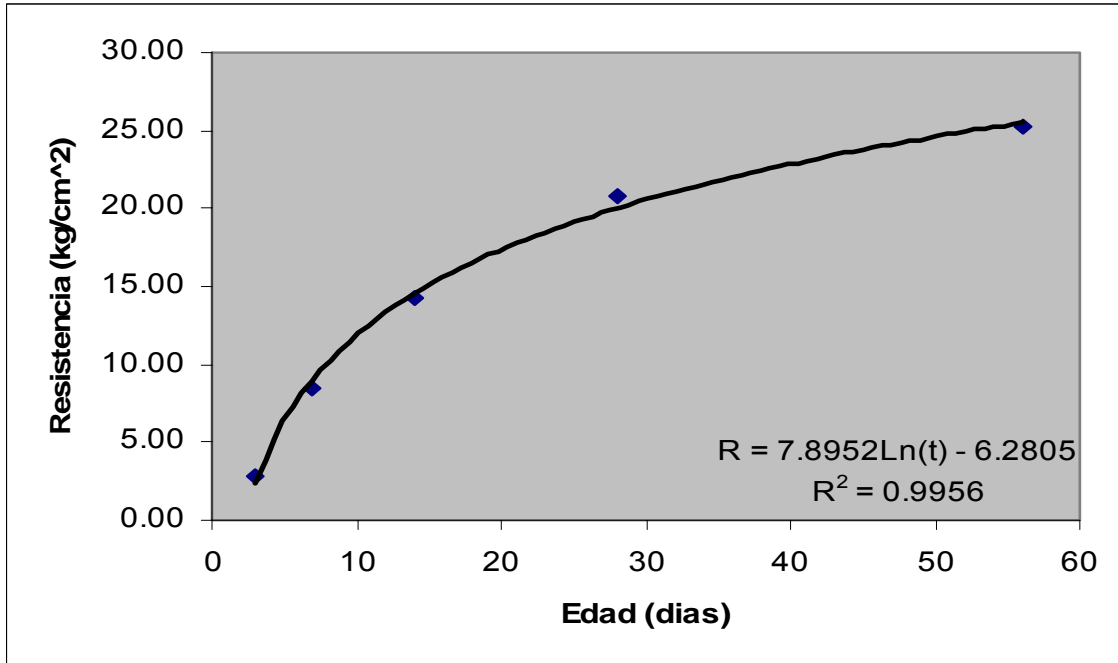
Tabla XXIII. Resistencia a la flexión

Edad (Días)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
3	3.4	2.8	0.7	9.6	1.2	4.6
7	9.6	8.4	1.7	13.4	2.5	9.6
14	15.6	14.3	2.6	15.9	3.7	14.6
28	24.9	20.9	3.2	19.6	5.0	20.9
56	28.9	25.2	4.1	22.1	6.9	24.9

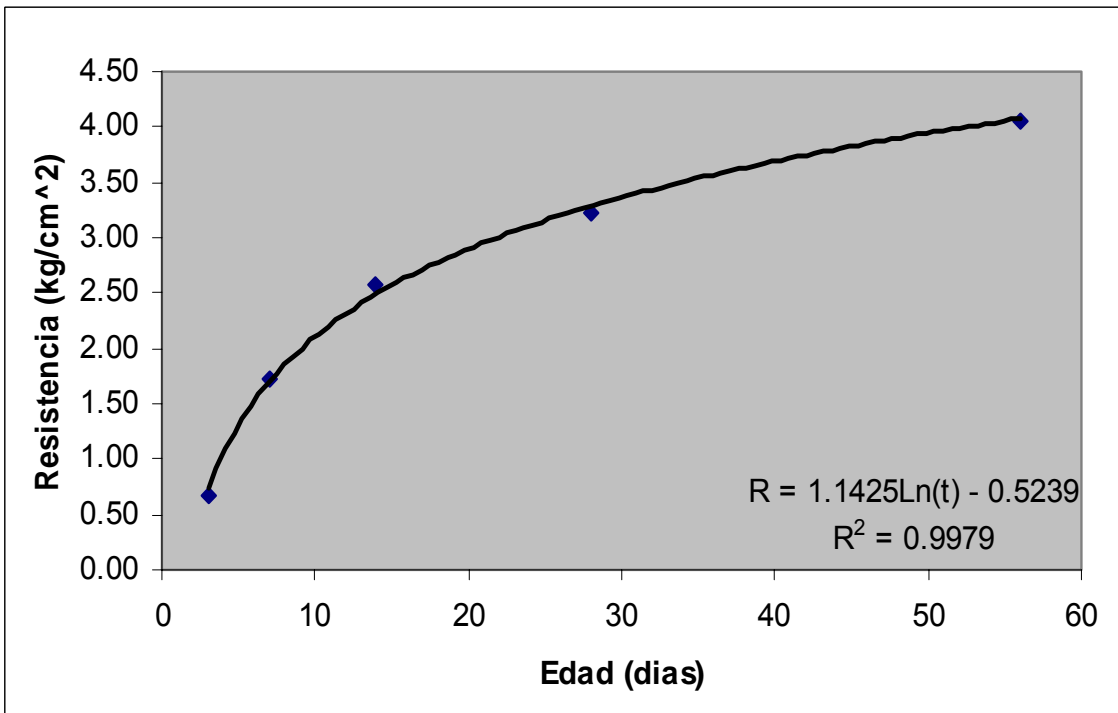
Figura 35. Comportamiento resistencia a la flexión de la sabieta-cal



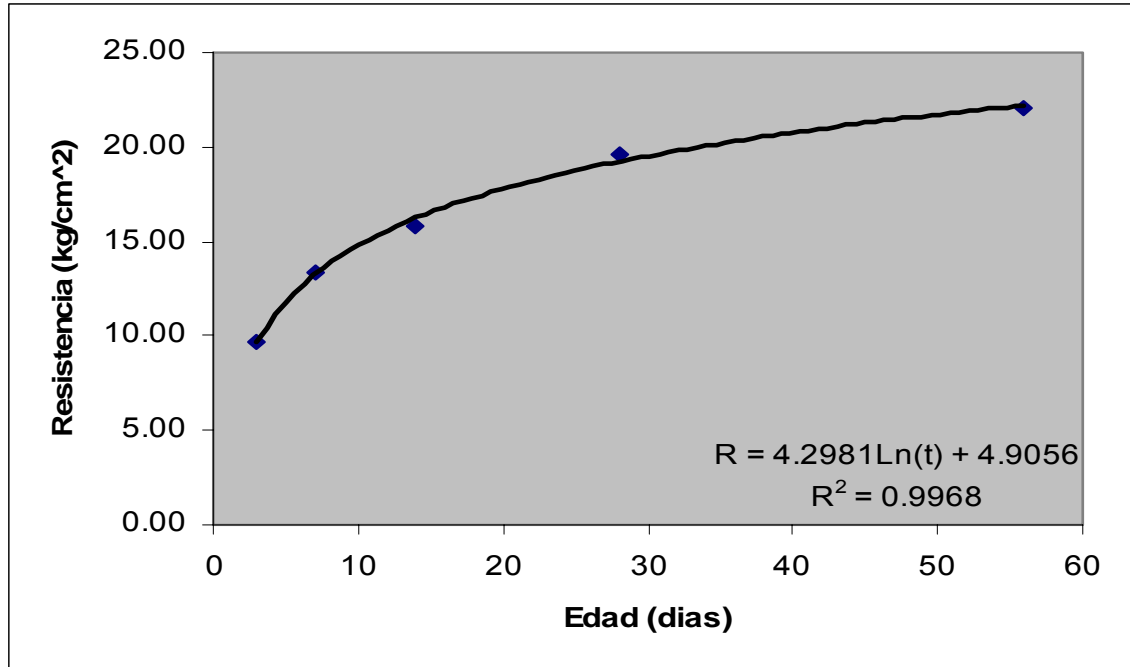
**Figura 36. Comportamiento resistencia a la flexión de la sabieta**



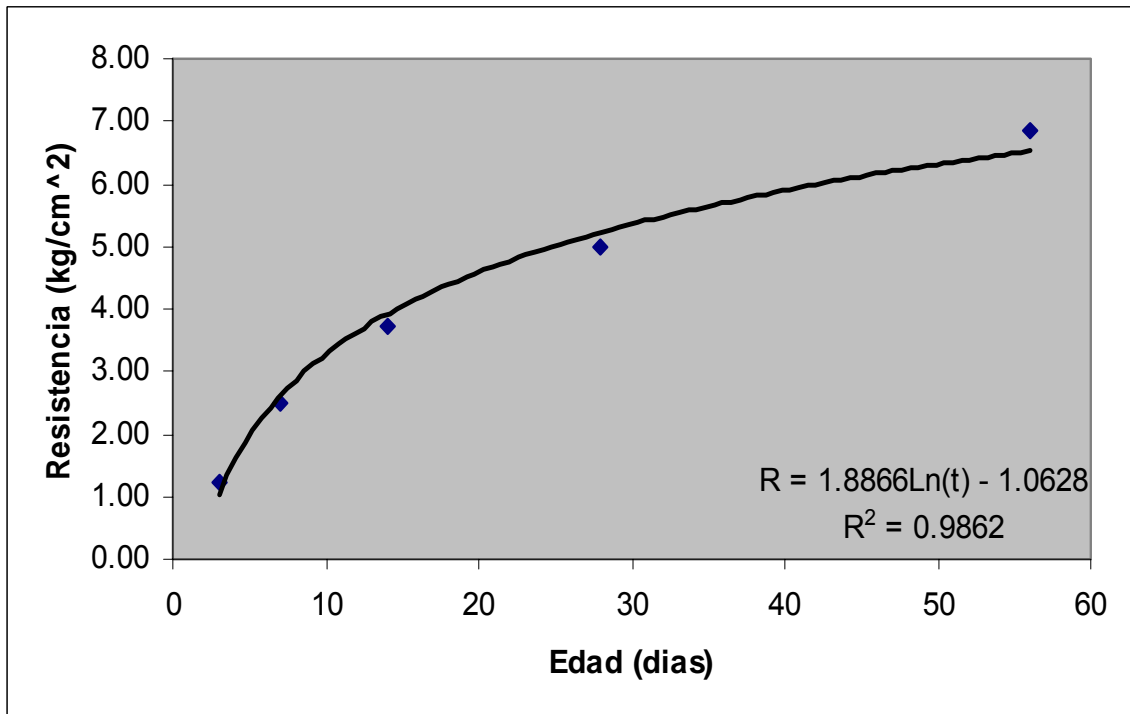
**Figura 37. Comportamiento resistencia a la flexión del cernido-cal**



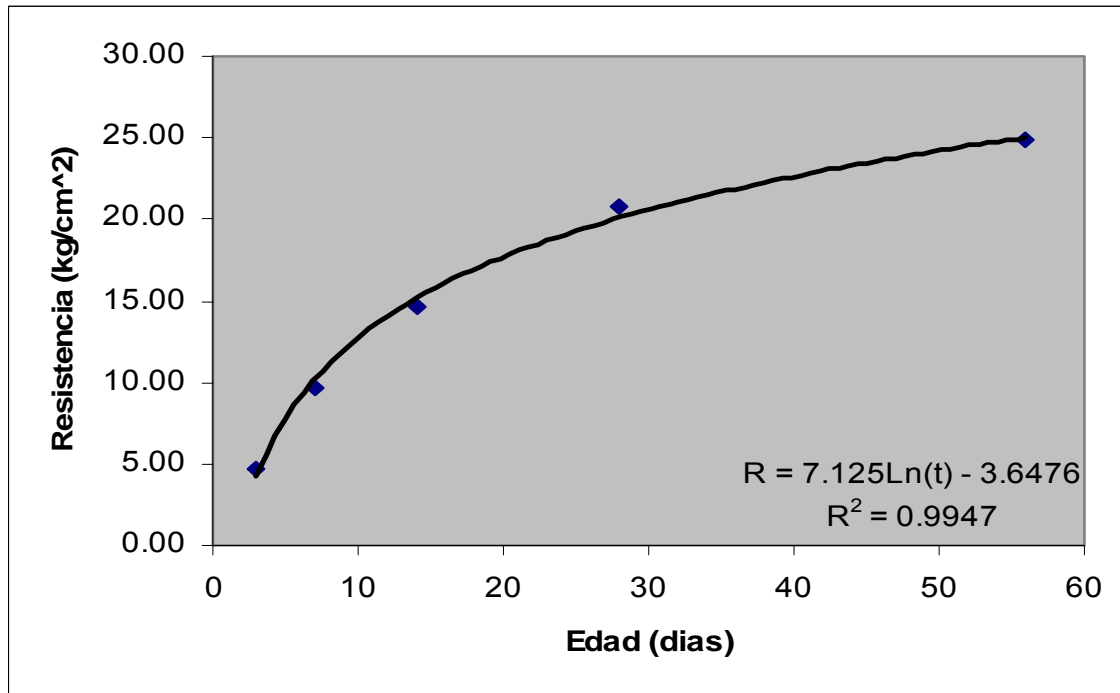
**Figura 38. Comportamiento resistencia a la flexión del cernido**



**Figura 39. Comportamiento resistencia a la flexión del repello-cal**



**Figura 40. Comportamiento resistencia a la flexión del repello**



#### 4.2.3.9 Adherencia

Se evaluaron cinco prismas por mortero, (ver tabla XXIV).

**Tabla XXIV. Adherencia**

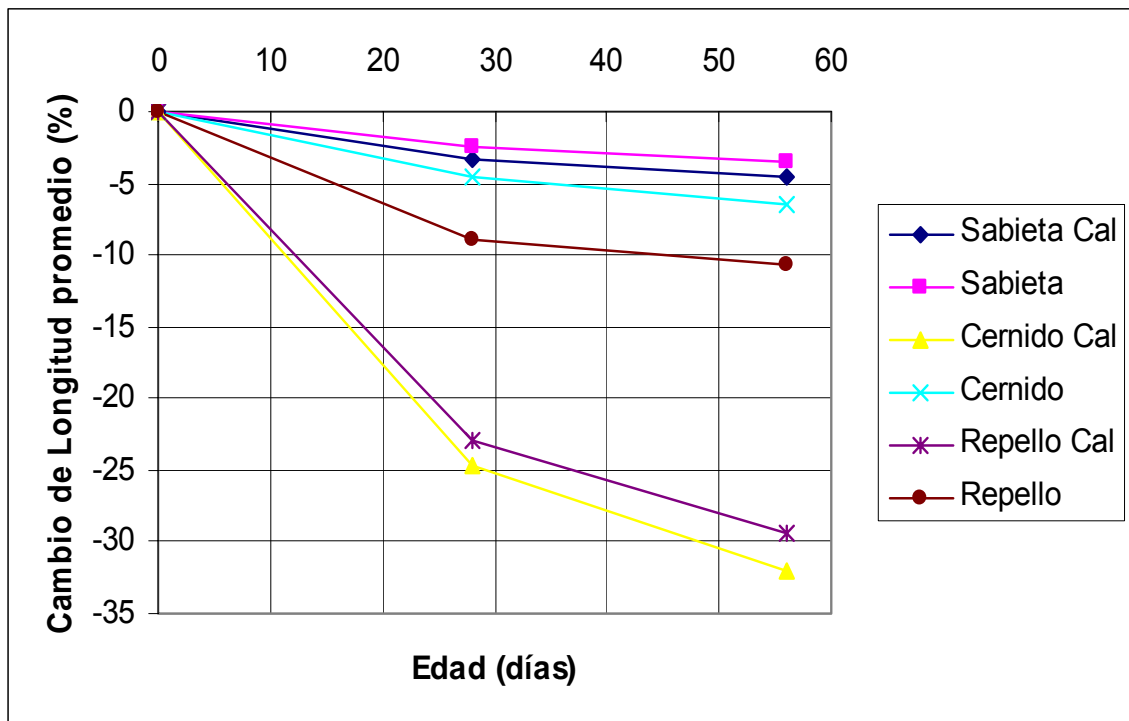
MORTERO	Esfuerzo de Adherencia (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Falla Inicial	Falla final
Sabieta Cal	11.0	17.4
Sabieta	No presentó	7.5
Cernido Cal	No presentó	2.7
Cernido	No presentó	5.8
Repello Cal	No presentó	3.7
Repello	No presentó	5.3

#### 4.2.3.10 Cambios de longitud

Tabla XXV. Cambio de longitud

MORTERO	Resultado (%)	
	28 días	56 días
Sabieta Cal	-3.3	-4.6
Sabieta	-2.5	-3.5
Cernido Cal	-24.6	-32.0
Cernido	-4.6	-6.4
Repello Cal	-23.0	-29.3
Repello	-8.9	-10.6

Figura 41. Cambio de longitud



#### 4.2.3.11 Permeabilidad al agua

**Tabla XXVI. Evaluación permeabilidad junta mortero-unidad**

<b>MORTERO</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	
	<b>100 km/h</b>	<b>200 km/h</b>
	<b>Permeabilidad (ml/seg)</b>	<b>Permeabilidad (ml/seg)</b>
<b>Sabieta Cal</b>	1.1	1.6
<b>Sabieta</b>	2.0	3.4

**Tabla XXVII. Evaluación de la permeabilidad**

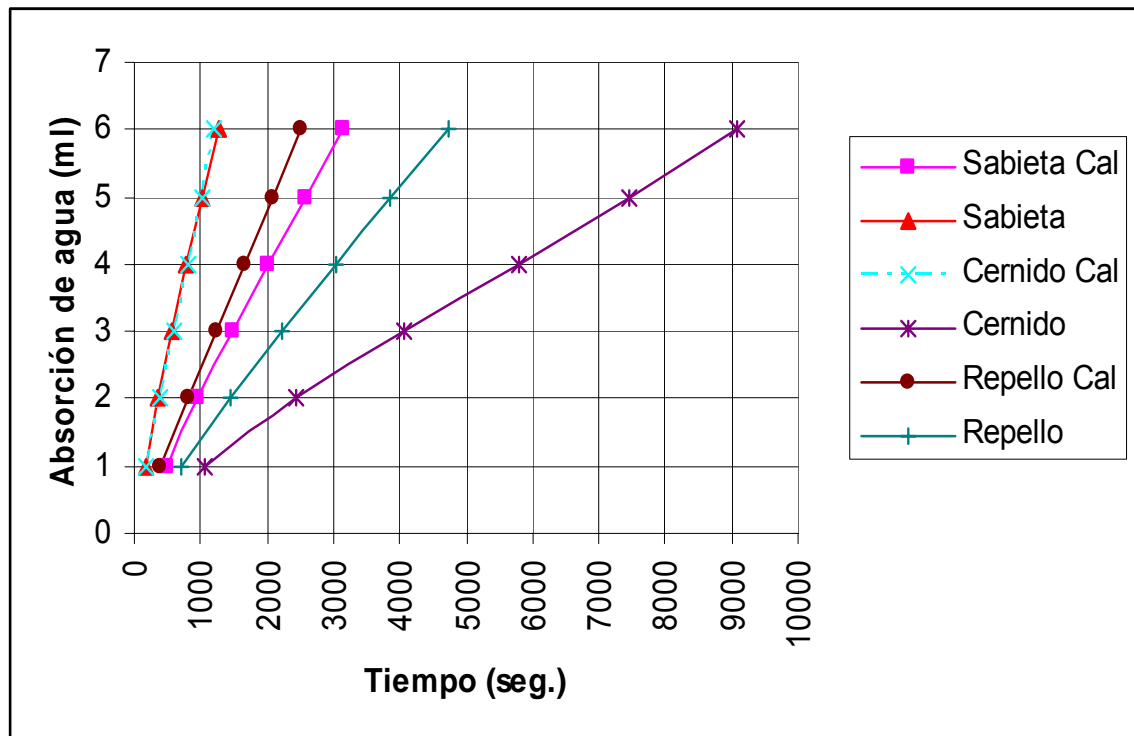
<b>MORTERO</b>	<b>VELOCIDAD DEL VIENTO</b>	
	<b>100 km/h</b>	<b>200 km/h</b>
	<b>Permeabilidad (ml/seg)</b>	<b>Permeabilidad (ml/seg)</b>
<b>Sabieta Cal</b>	0.0016	0.0021
<b>Sabieta</b>	0.0040	0.0057
<b>Cernido Cal</b>	0.0046	0.0056
<b>Cernido</b>	0.0061	0.0009
<b>Repello Cal</b>	0.0022	0.0025
<b>Repello</b>	0.0012	0.0015



Tabla XXVIII. Pérdida de columna de agua y absorción

PERDIDA EN COLUMNA DE AGUA (cm)	ABSORCION DE AGUA (ml)	TIEMPO (seg)					
		Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
10 a 9	1	484	175	182	1060	391	698
9 a 8	2	948	365	386	2429	801	1455
8 a 7	3	1483	574	595	4064	1223	2230
7 a 6	4	2031	794	799	5792	1652	3023
6 a 5	5	2578	1039	1014	7453	2068	3868
5 a 4	6	3154	1265	1219	9086	2526	4726

Figura 42. Tasa de absorción de los morteros



**Fotografía 43. Evaluación permeabilidad junta mortero-unidad**



**Fotografía 44. Evaluación de la permeabilidad mortero de acabado**





## **5 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1 Agregados**

De los agregados utilizados, el de trituración es el único que se encuentra dentro de los límites granulométricos especificados por la ASTM C-144, es el más denso y su porcentaje de absorción es bajo. Las arenas pómez y amarilla poseen baja densidad y alto porcentaje de absorción.

### **5.2 Bloques**

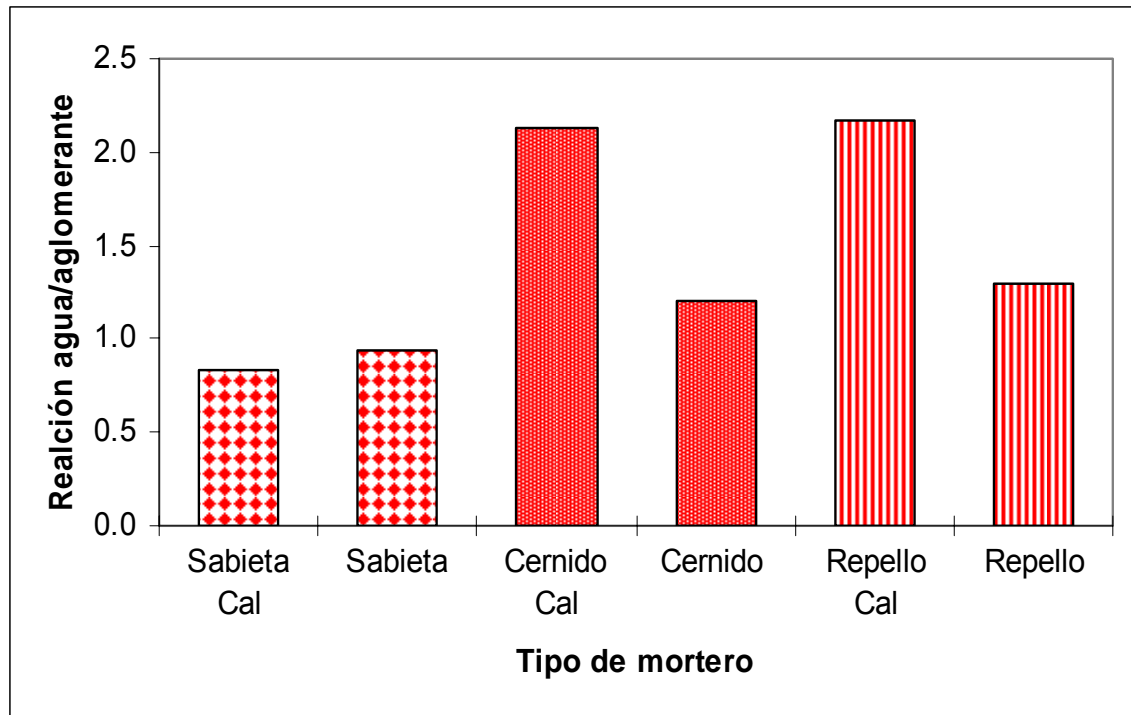
Según COGUANOR NGO 41054 los bloques se clasifican como “bloques huecos de hormigón tipo pesado, clase A, grado 1”, siendo clasificados por el proveedor como clase B grado 2.

### **5.3 Morteros**

#### **5.3.1 Trabajabilidad**

Para los seis tipos de mortero se obtuvo una trabajabilidad entre 105 y 115 %; de acuerdo a lo especificado en la norma COGUANOR NGO 41003 h4. En los morteros de levantado se mantuvieron constantes las cantidades de cemento, la relación agua/aglomerante de la sabieta-cal es mayor que la de la sabieta en un 4.3%. En los morteros de acabado la relación agua/aglomerante del cernido-cal es mayor que el del cernido en un 15.6%. En los morteros de recubrimiento la relación agua/aglomerante del repello-cal es mayor que el del repello en un 9.3% (ver figura 45).

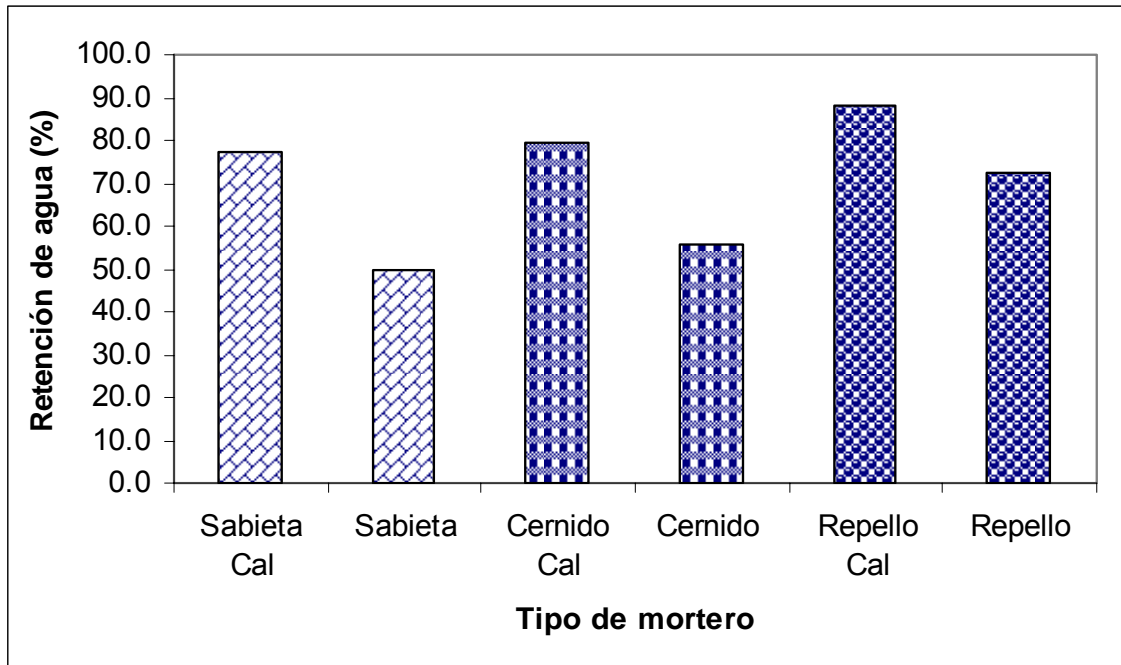
**Figura 45. Relación agua/aglomerante**



### **5.3.2 Retención de agua**

En los morteros de levantado, la sabieta-cal retuvo mayor cantidad de agua obteniéndose un 54.5% más respecto de la sabieta. En los morteros de acabado, el cernido cal retuvo mayor cantidad de agua obteniéndose un 42.6% más respecto del cernido. En los morteros de recubrimiento el repello-cal retuvo mayor cantidad de agua obteniéndose un 22.1% más respecto del repello. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan mayor capacidad de retener el agua (ver figura 46).

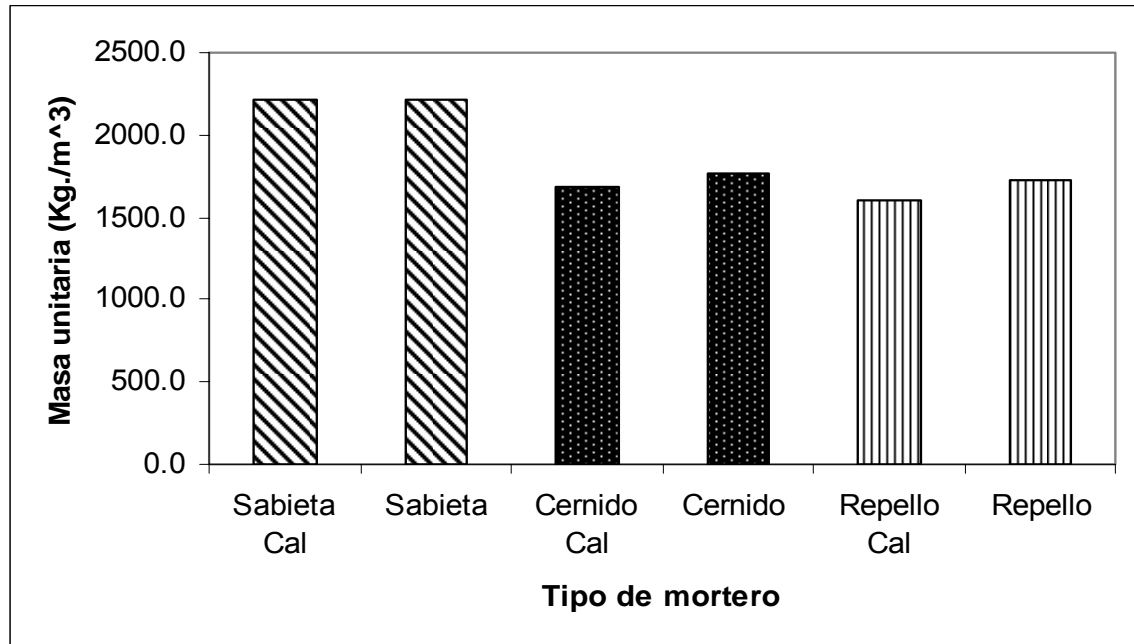
**Figura 46. Retención de agua**



### 5.3.3 Masa unitaria

De acuerdo a la clasificación propuesta en la tabla VIII, los morteros de levantado pueden clasificarse como pesados; teniendo la sabieta-cal mayor masa unitaria que la sabieta en un 0.1%. Los morteros de acabado pueden clasificarse como medianos; teniendo el cernido mayor masa unitaria que el cernido-cal en un 5.3%. Los morteros de recubrimiento pueden clasificarse como liviano al repello-cal y como mediano al repello; teniendo el repello mayor masa unitaria que el repello-cal en un 5.0%. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan menor masa unitaria (ver figura 47).

**Figura 47. Masa unitaria**

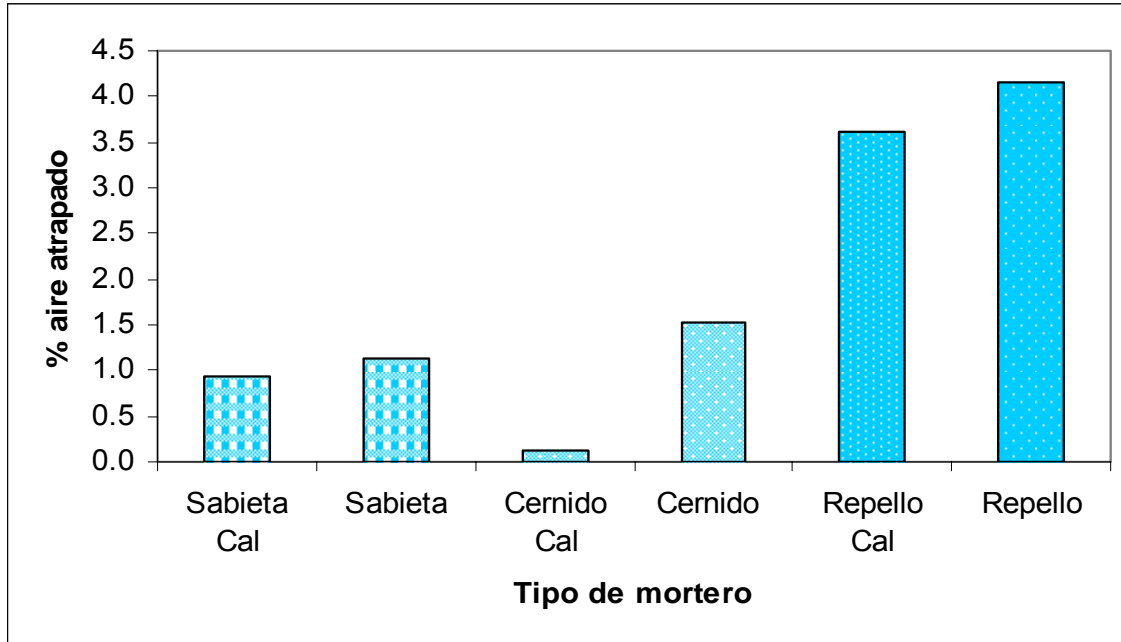


#### **5.3.4 Contenido de aire**

La norma ASTM C-270 especifica el máximo contenido de aire atrapado en morteros de levantado, si el mortero esta en contacto con el acero de refuerzo y en su proporción contiene cal y cemento; el máximo contenido de aire será del 12.0%, si de igual manera el mortero esta en contacto con el acero de refuerzo y en su proporción contiene únicamente cemento de mampostería; el máximo contenido de aire será del 18.0%.

En los morteros de levantado; la sabieta-cal presentó 16.8% menor contenido de aire que la sabieta. En los morteros de acabado; el cernido-cal presentó 91.3% menor contenido de aire que el cernido. En los morteros de recubrimiento; el repello-cal presentó 91.3% menor contenido de aire que el repello. El contenido de aire de los morteros se encuentra dentro del rango establecido por la norma ASTM C 270 (ver figura 48).

**Figura 48. Contenido de aire**



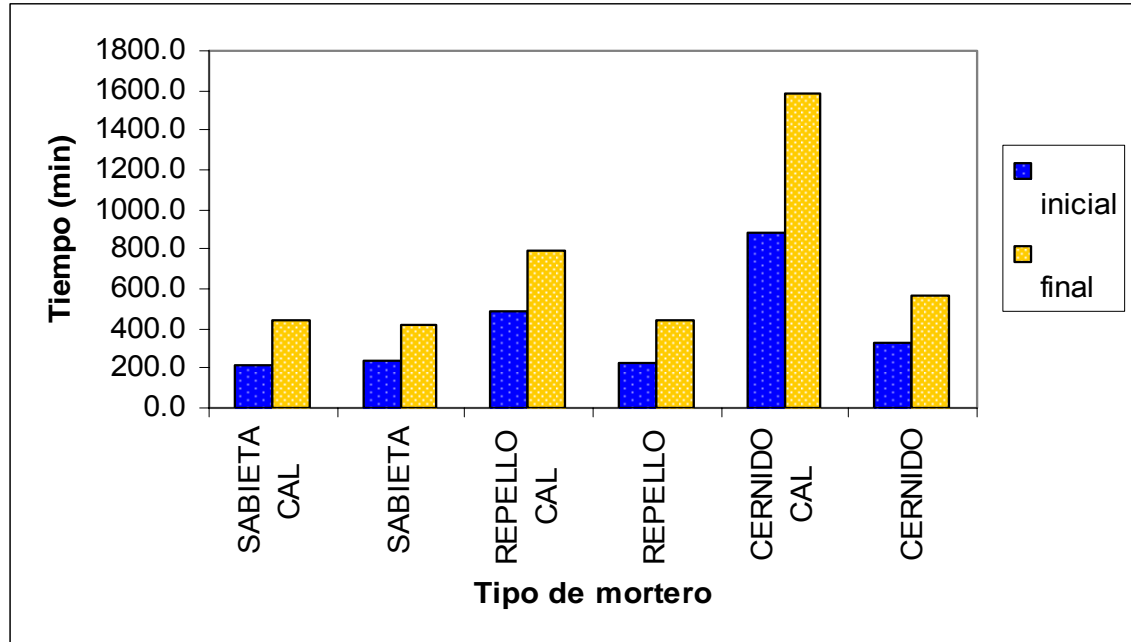
### **5.3.5 Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración**

Para la evaluación de la velocidad de endurecimiento se tomaron como parámetros el fraguado inicial y el final.

En los morteros de levantado, la sabieta-cal obtuvo un fraguado inicial 25 minutos más rápido y un fraguado final 16 minutos más lento respecto a la sabieta. En los morteros de acabado el cernido obtuvo un fraguado inicial 554 minutos más rápido y un fraguado final 1,011 minutos más rápido respecto del cernido-cal. En los morteros de recubrimiento el repello obtuvo un fraguado inicial 270 minutos más rápido y un fraguado final 3461 minutos más rápido respecto del repello-cal. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan menor velocidad de endurecimiento evaluada mediante el método de la resistencia a la penetración (ver figura 49).



**Figura 49. Tiempos de fraguado**



### 5.3.6 Resistencia a la compresión

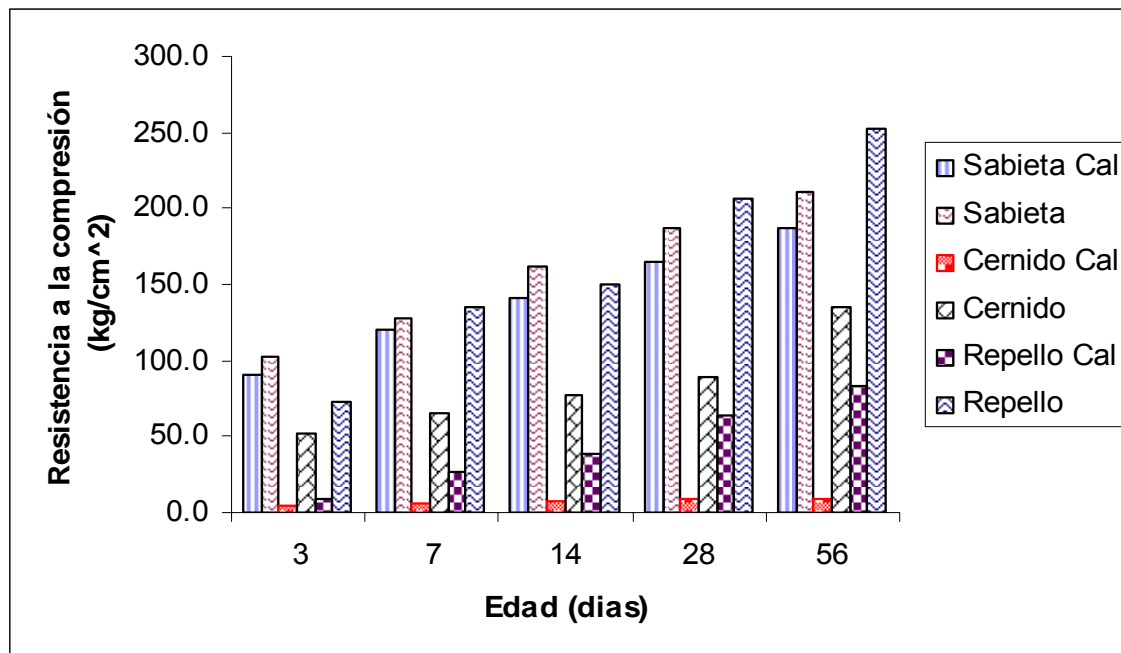
Para los morteros de levantado, el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para la sabieta fue del 12.5% y de la sabieta-cal fue del 13.7%, la sabieta desarrolló mayor resistencia a la compresión que la sabieta-cal tanto a 28 como a 56 días, obteniéndose un aumento respectivo del 13.9% y 12.5%. En los morteros de acabado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el cernido fue del 51.9% y de la cernido-cal fue del 11.6%, el cernido desarrolló mayor resistencia que el cernido-cal, obteniéndose un aumento del 970.0% a 28 días y 1,355.0% a 56. En los morteros de recubrimiento el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el repello fue del 22.3% y del repello-cal fue del 29.2%, el repello desarrolló mayor resistencia que el repello-cal, obteniéndose un aumento del 220% a 28 días y 202% a 56 días. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan menor desarrollo de resistencia inicial a la compresión (ver figura 50).

La sabieta cal satisface los requerimientos mínimos de resistencia a la compresión de un mortero tipo S sin tomar en cuenta si cumple con los requerimientos mínimos de retención de agua o máximos de contenido de aire, (ver tabla XXIX ).

**Tabla XXIX. Clasificación de los morteros en estudio según su resistencia mínima a la compresión a los 28 días**

MORTERO	Clasificación ASTM C-270 según su resistencia mínima a la compresión
Sabieta Cal	S
Sabieta	M
Cernido Cal	Sin clasificación
Cernido	N
Repello Cal	N
Repello	S

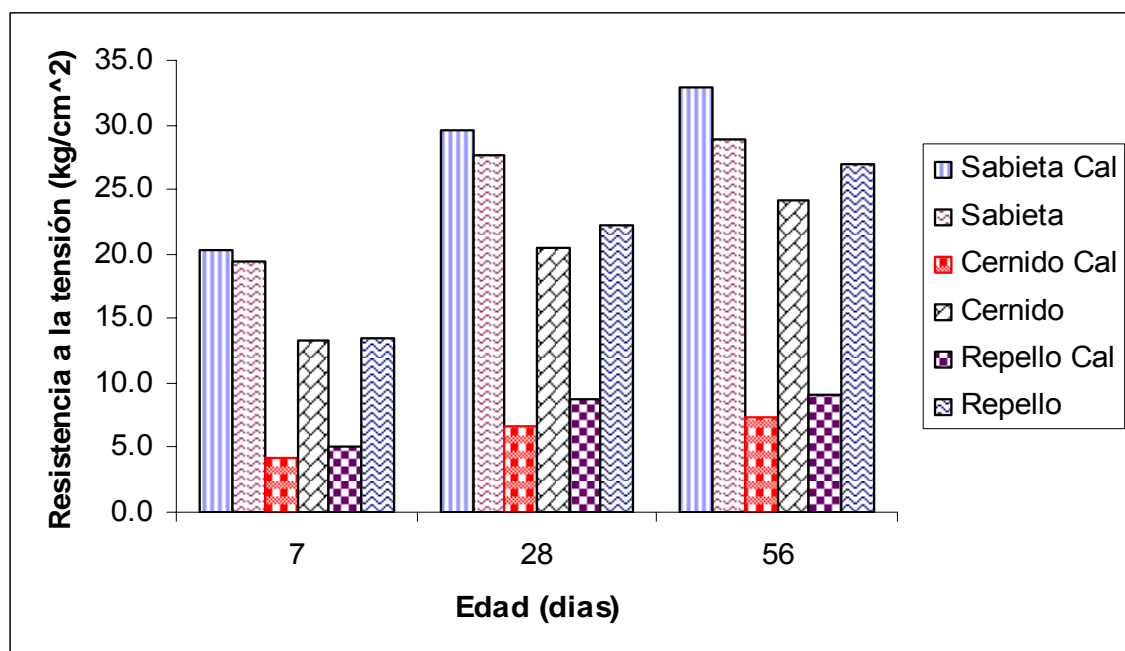
**Figura 50. Resistencia a la compresión a diversas edades**



### 5.3.7 Resistencia a la tensión

Para los morteros de levantado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para la sabieta fue del 4.5% y de la sabieta-cal fue del 10.9%, la sabieta-cal desarrolló mayor resistencia a la tensión que la sabieta tanto a 28 como a 56 días, obteniéndose un aumento respectivo del 7.5% y 14.0%. En los morteros de acabado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el cernido fue del 17.4% y de la cernido-cal fue del 10.5%, el cernido desarrolló mayor resistencia que el cernido-cal; tanto a 28 como a 56 días, obteniéndose un aumento respectivo del 208.0% y 227.0%. En los morteros de recubrimiento el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el repello fue del 21.7% y del repello-cal fue del 4.0%, el repello desarrolló mayor resistencia que el repello-cal, obteniéndose un aumento del 152.0% a 28 días y 194.9% a 56 días. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan menor desarrollo de resistencia a la tensión (ver figura 51).

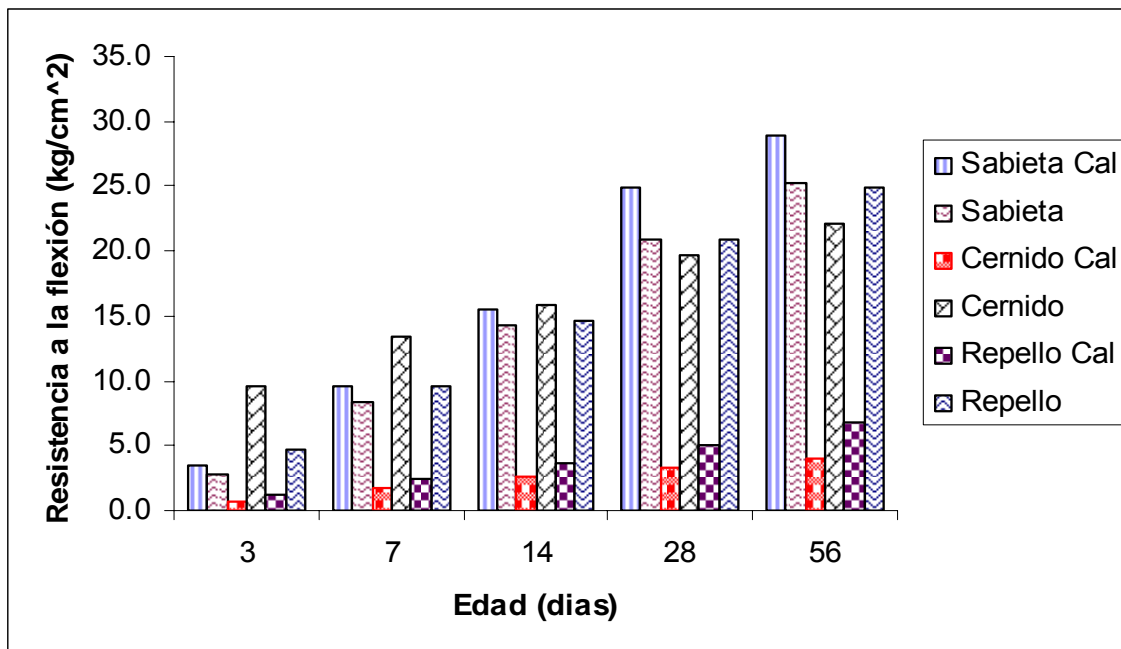
Figura 51. Resistencia a la tensión a diversas edades



### 5.3.8 Resistencia a la flexión

En los morteros de levantado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para la sabieta fue del 20.9% y de la sabieta-cal fue del 16.3%, la sabieta-cal desarrolló mayor resistencia a la flexión que la sabieta tanto a 28 como a 56 días, obteniéndose un aumento respectivo del 19.0% y 15.0%. En los morteros de acabado el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el cernido fue del 12.7% y de la cernido-cal fue del 25.7%, el cernido desarrolló mayor resistencia que el cernido-cal; tanto a 28 como a 56 días, obteniéndose un aumento respectivo del 507.0% y 444.8%. En los morteros de recubrimiento el desarrollo de resistencia de 28 a 56 días para el repello fue del 14.5% y de la repello-cal fue del 37.6%, el repello desarrolló mayor resistencia que el repello-cal, obteniéndose un aumento del 319.0% a 28 días y 264.0% a 56 días. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan menor desarrollo de resistencia a la flexión (ver figura 52).

**Figura 52. Resistencia a la flexión a diversas edades**



### 5.3.9 Adherencia

Se observó que en los morteros de levantado, el esfuerzo de adherencia de la sabieta fue superado en un 57.0% por la sabieta-cal, este último mortero indujo una falla inicial de corte a las unidades de mampostería para luego fallar las juntas por adherencia. Los morteros de acabado y recubrimiento no presentaron falla inicial (ver figura 53).

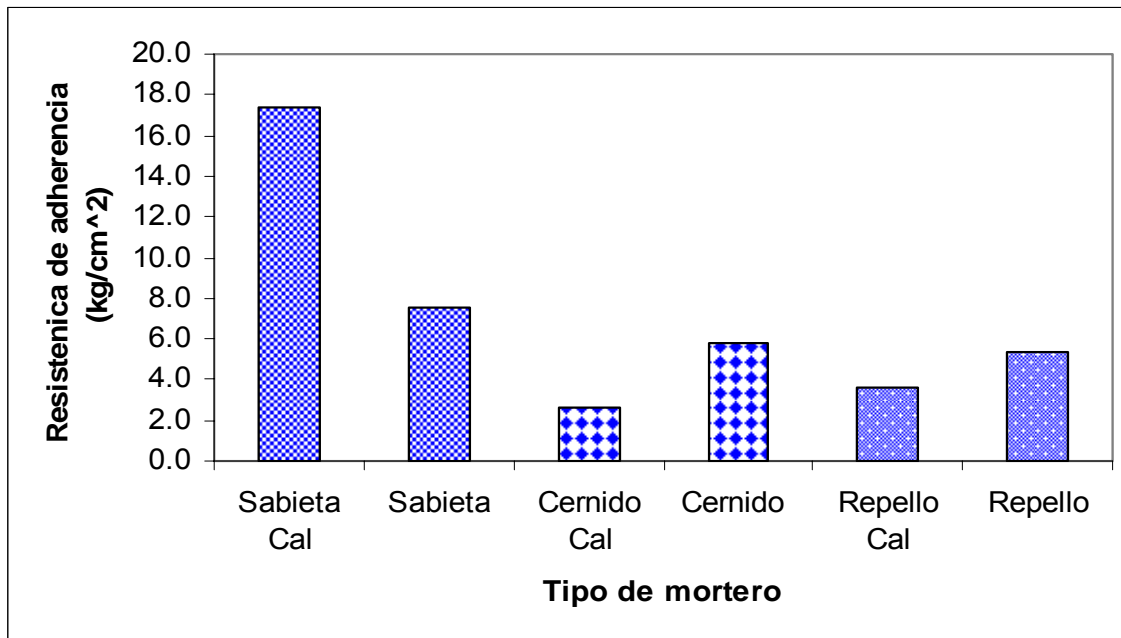
**Figura 53. Falla inicial presentada en los prismas para la evaluación de adherencia sabieta-cal**



En los morteros de acabado el cernido desarrolló mayor capacidad de adherencia a 28 días que el cernido-cal, obteniéndose un aumento del 118.0%. En los morteros de recubrimiento el repello desarrolló mayor capacidad de adherencia a 28 días que el repello-cal, obteniéndose un aumento del 45.0%.

Se observa que los morteros de de cal y los de cemento presentan menor desarrollo de adherencia para con las unidades de mampostería que los morteros de cemento y cal (ver figura 54).

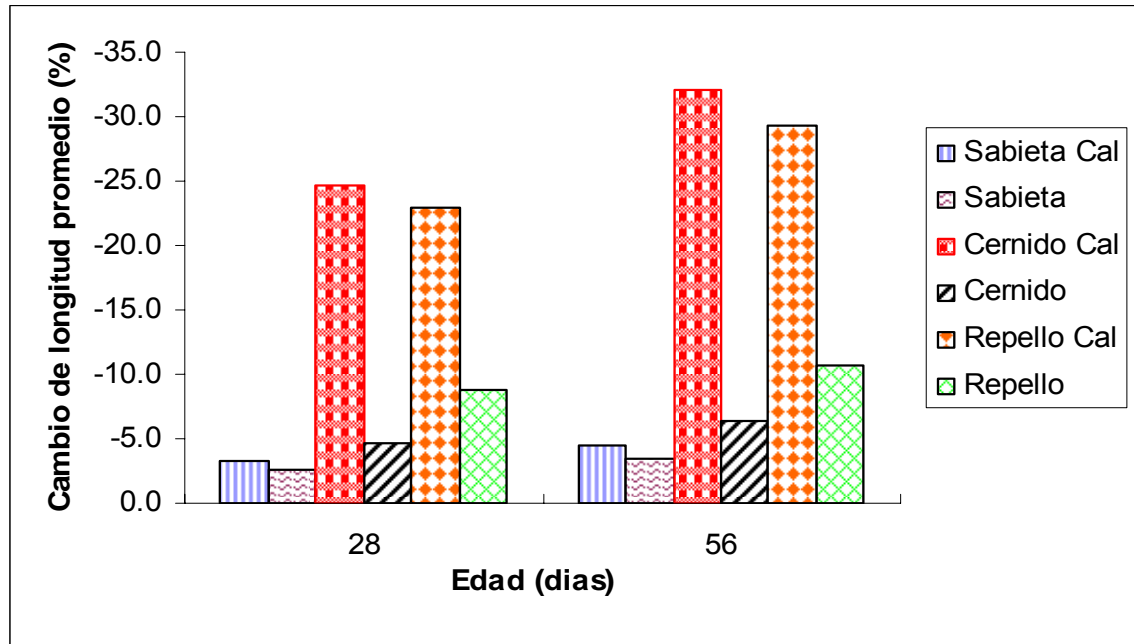
**Figura 54. Adherencia a 28 días**



### 5.3.10 Cambios de longitud

Todos los morteros en estudio presentaron contracción a 28 y 56 días, sin embargo los morteros cuyas proporciones contenían mayor cantidad de cal que de cemento fueron los que mas se contrajeron. En los morteros de levantado la sabieta-cal se contrajo 32% a 28 días y 31% a 56 días respecto de la sabieta. En los morteros de acabado el cernido-cal se contrajo 432% a 28 días y 400% a 56 días respecto del cernido. En los morteros de recubrimiento el repello-cal se contrajo 159% a 28 días y 177% a 56 días respecto del repello. Se observa que los morteros con mayor contenido de cal presentan mayor contracción (ver figura 55).

**Figura 55. Cambios de longitud a 28 y 56 días**

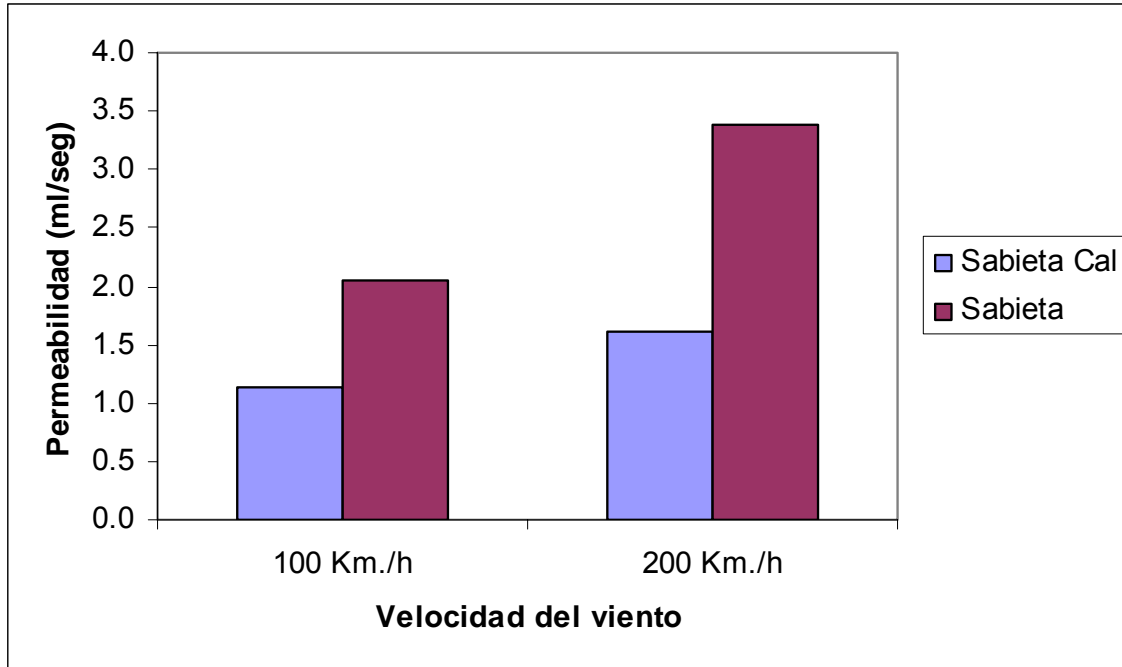


### 5.3.11 Permeabilidad al agua

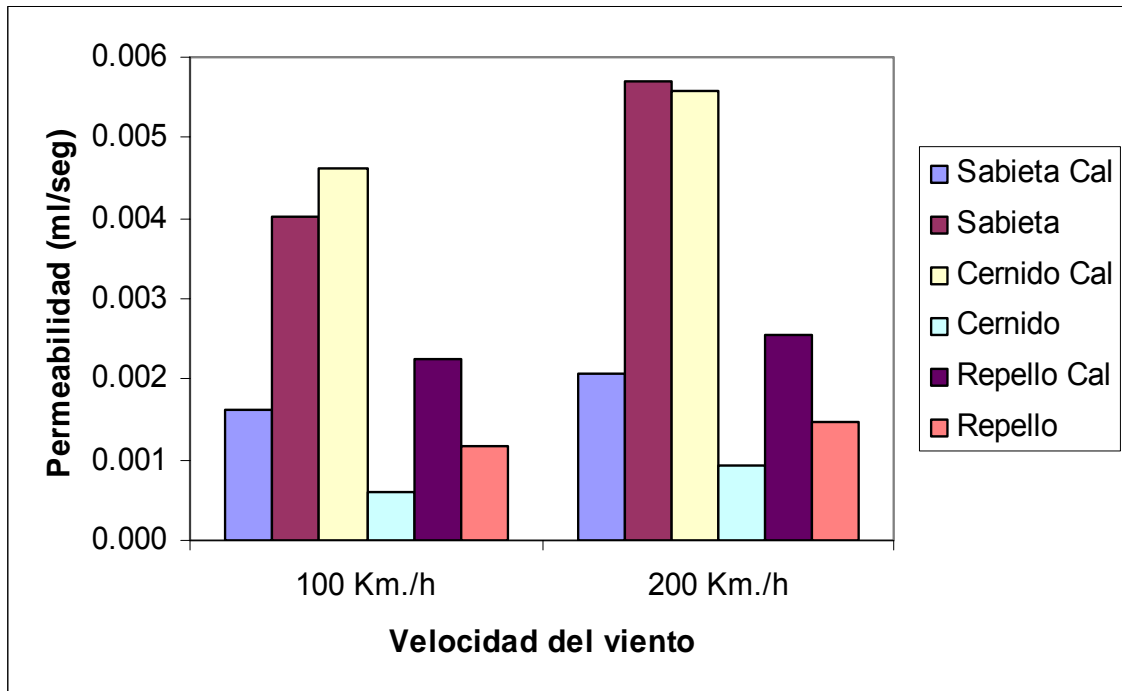
La permeabilidad de los morteros de levantado se evaluó de dos maneras, la primera consistió en determinar la permeabilidad de la junta mortero-unidad y la segunda consistió en determinar la permeabilidad de una capa de mortero, en ambos casos la sabieta-cal fue menos permeable que la sabieta, esta fue de 80.0% a 100 Km./h y 110.0% a 200 Km./h respecto de la sabieta, al evaluar la capa de mortero se obtuvo una permeabilidad del 150.0% a 100 Km./h y 177.0% a 200 Km./h de la sabieta respecto de la sabieta-cal.

En los morteros de acabado el cernido presentó menor permeabilidad, siendo del 660.0% a 100 Km./h y 495.0% a 200 Km./h respecto del cernido-cal. En los morteros de recubrimiento el repello presento menor permeabilidad, siendo del 92.0% a 100 Km./h y 72.0% a 200 Km./h respecto del repello-cal (ver figura 56 y 57).

**Figura 56. Permeabilidad junta mortero-unidad**



**Figura 57. Permeabilidad de la capa de mortero**







## CONCLUSIONES

1. La adición de cal para un mortero de cemento requiere más cantidad de agua para obtener la misma trabajabilidad.
2. Los morteros con contenido de cal presentan mayor capacidad de retener el agua.
3. Los morteros sabieta-cal, cernido-cal y repello-cal cumplen con los requerimientos mínimos de retención de agua mencionados en la norma ASTM C-270 (75%).
4. La masa unitaria de los morteros depende fundamentalmente del tipo de agregado fino a utilizar y de la cantidad de cemento o cal de sus proporciones.
5. Los morteros con mayor contenido de cal presentan menor masa unitaria.
6. La densidad del mortero libre de aire es mayor para los fabricados con cemento que la de los de cemento con adiciones de cal y, a la vez, la de estos es mayor que la de los morteros de cal.
7. La adición de cal a los morteros provoca menor densidad y contenido de aire.

8. La velocidad de endurecimiento de los morteros disminuye con la adición de cal.
9. La resistencia a la compresión a edades tempranas de los morteros disminuye con la adición de cal
10. Los morteros de cemento y cal desarrollan mayor resistencia a la tensión a 28 y 56 días que los morteros de cemento y los de cal.
11. El módulo de ruptura de los morteros de cemento con adiciones de cal es mayor que el de los morteros de cemento y los de cal.
12. Los morteros de cemento y cal desarrollan mayores esfuerzos de adherencia que los morteros de cemento y los de cal.
13. La gran cantidad de burbujas de aire atrapado en los morteros disminuye su capacidad de adherencia para con las unidades de mampostería.
14. La adición de cal en los morteros provoca contracción en estos.
15. Los morteros de cemento con adiciones de cal son menos permeables que los morteros de cal, siendo los morteros de cemento los mas permeables.
16. La cantidad de burbujas de aire atrapado en el mortero disminuye su permeabilidad.
17. La cantidad de burbujas de aire puede disminuirse con la adición de cal.

## RECOMENDACIONES

1. Si se desea mejorar la trabajabilidad del mortero es necesario adicionar cal a la mezcla, entre un 20-40%.
2. Si se desea mejorar la trabajabilidad sin afectar la resistencia del mortero, es necesario realizar un diseño de mezcla y someterlo a ensayos de compresión a 28 días de acuerdo con la norma COGUANOR NGO 41 003 h4.
3. Debido a que los morteros de cemento y cal y los de cal poseen menor masa unitaria, pueden ser utilizados para reducir carga muerta en el análisis estructural de las edificaciones.
4. El mortero de cemento no deberá ser reacondicionado después de aplicado, aunque estos no hayan alcanzado su tiempo de fraguado inicial, estos tienden a generar microfisuras al ser reacondicionados debido a la pérdida casi instantánea de agua.
5. Cuando se utilicen unidades de mampostería de alta absorción como las producidas artesanalmente, en Guatemala, es necesario emplear morteros de levantado de cemento con adiciones de cal para que la absorción de estas no afecte el fraguado y el curado inicial del mortero.
6. Para la impermeabilización de tanques, piscinas, muros, etc., se aconseja utilizar morteros de cemento con adiciones de cal, ya que, con ellos se obtiene menor permeabilidad.

7. Las mezclas de mortero de repello y cernido propuestas en el presente trabajo pueden reacondicionarse durante la jornada de trabajo, ya que, su tiempo de fraguado inicial supera las ocho horas.
8. Si se desea evitar grietas en morteros de acabado y recubrimiento elaborados con cal, deberá controlarse el contenido de esta; adicionando pequeñas cantidades de cemento a la mezcla.
9. Para aumentar el esfuerzo de adherencia del mortero para con las unidades de mampostería, deberá utilizarse un mortero de cemento con adiciones de cal.
10. Es necesario realizar una investigación donde se logre determinar el contenido óptimo de cal en morteros, de manera que la adición de esta no afecte de manera negativa sus propiedades físico-mecánicas, tanto en estado fresco como endurecido.

## REFERENCIAS

1

Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** (5ª Edición, Colombia: Editorial Bhandar editores Ltda., 2001) p.17

2

F. J. Quiñónez, C. Robledo, **Perfil Descriptivo de la industria de la cal en Guatemala.** (Guatemala: s.e., s.a.) p.6

3

León Pineda Eduardo Antonio, **Morteros de cal con materiales del departamento de Guatemala** (Guatemala: s.e., 1967.) p.p. 60-65

4

*The Aberdeen group.* **Como especificar y utilizar mortero para mampostería.** (E.E.U.U.: *The Aberdeen group*, 1994.) p.28

5

Hugo Barrera V., Paloma Luna G. Daniel Faúndez V. **Estudio de los morteros de junta bajo la óptica de la adherencia.** (Chile: s.e., s.a.) p.7

6

COGUANOR NGO 41 017 h12, **Hormigón. Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por el método de resistencia a la penetración.** p.p 1-2

7

Hugo Barrera V., Paloma Luna G. Daniel Faúndez V. **Estudio de los morteros de junta bajo la óptica de la adherencia.** (Chile: s.e., s.a.) p.8

8

*H. Kosmatawa, Steven y William C. Panarese.* **Diseño y control de mezclas de concreto.** México: Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 1992. p.5

9

*The Aberdeen group.* **Como especificar y utilizar mortero para mampostería.** (E.E.U.U.: *The Aberdeen group*, 1994.) p.6

10

Hugo Barrera V., Paloma Luna G. Daniel Faúndez V. **Estudio de los morteros de junta bajo la óptica de la adherencia.** (Chile: s.e., s.a.) p.10

11

12

13

El Tubo Karsten [www.revista bit.cl/pdf/19articulo19.pdf](http://www.revista.bit.cl/pdf/19articulo19.pdf), 2005

14

Ver informes de la sección de concretos del CII USAC en anexos.

15

Ver informes de la sección de metales y productos manufacturados del CII USAC en anexos.

16

Ver informes de la sección de aglomerantes y morteros del CII USAC en anexos.





## BIBLIOGRAFÍA

1. **ASTM** *Book of standards*. USA: Vols. 4.01 y 4.02 2003
2. Barrera V, Hugo y otros. **Estudio de los morteros de junta según NCh 2256/1 bajo la óptica de la adherencia**. Chile: s.d.e. 40 pp.
3. Beltranena Matheu, Emilio. *Agregados para concreto*. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1955. 180 pp.
4. **COGUANOR** Normas relacionadas con la industria de la construcción. Guatemala: s.a.
5. **Como especificar y utilizar mortero para mampostería**. Estados Unidos de América: *The Aberdeen Group*, 1994. 63 pp.
6. *H. Kosmatawa, Steven y William C. Panarese*. **Diseño y control de mezclas de concreto**. México: Instituto Mexicano del cemento y del concreto, 1992. 226 pp.
7. León Pineda, Eduardo Antonio. *Morteros de cal con materiales del departamento de Guatemala*. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1967. 68 pp.
8. Macal Rodríguez, Jorge Francisco. *Propuesta para morteros de levantado para mampostería en áreas urbanas*. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1988. 26 pp.
9. Morales González, Jorge Mario. *Estudio de la variabilidad en las características físico-mecánicas en muros de ladrillo de barro cocido debido a la mano de obra y estudio de características físico-mecánicas de morteros típicos para levantado en la república de Guatemala*. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1975. 61 pp.

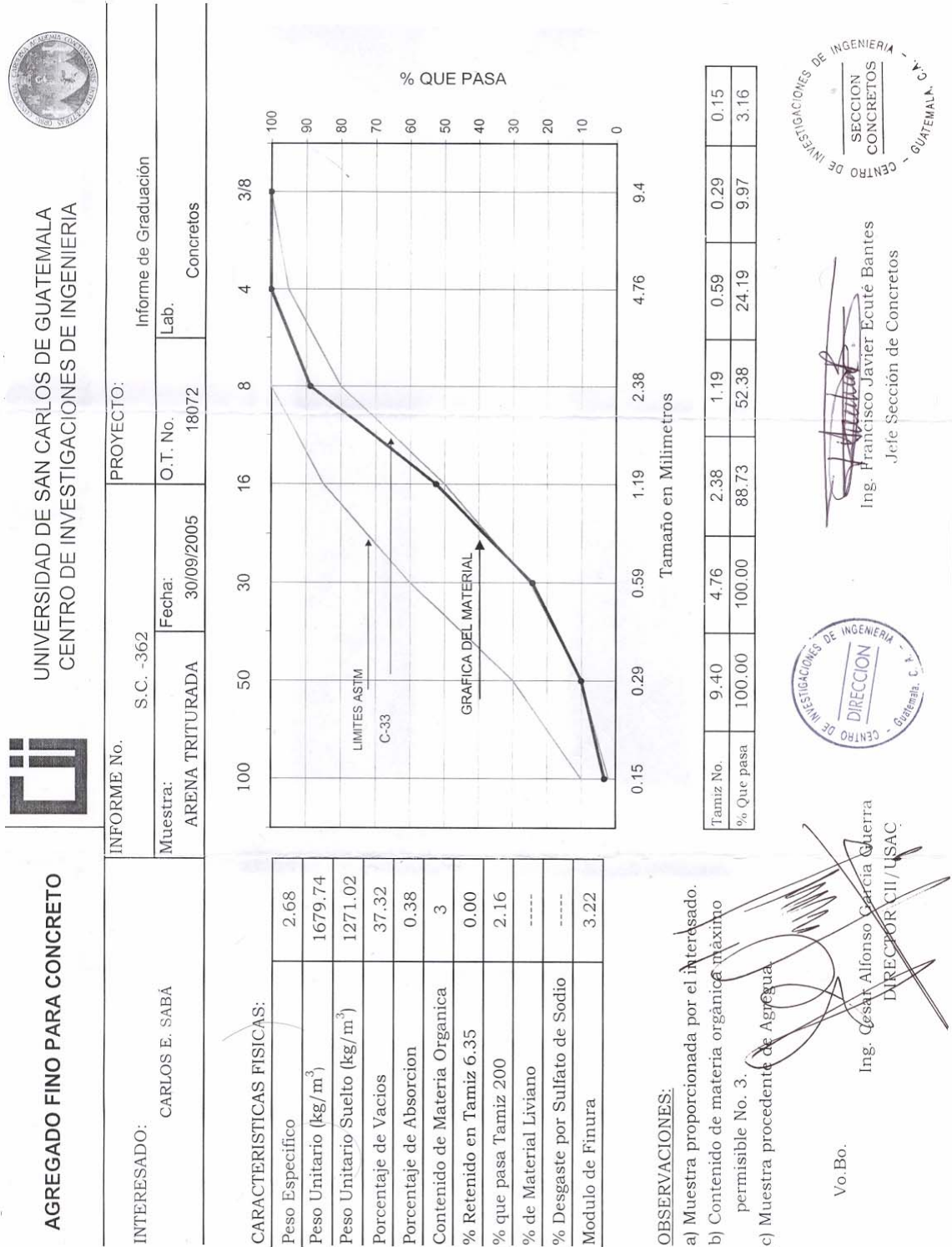
10. Nitsch Pineda, Juan Estuardo. Guía de laboratorio para las prácticas de diseño estructural en mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1985. 86 pp.
11. Sánchez de Guzmán, Diego. **Tecnología del concreto y del mortero**. 5ª Edición, Colombia: Editorial Bhandar editores Ltda., 2001. 317 pp.
12. Suárez Bendfelt, Carlos Leonel. Análisis de propiedades físico-mecánicas en morteros de mampostería a base de arena blanca. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 66 pp.
13. Zapata M, Blanca Helena. “Generalidades sobre la cal” **Notas técnicas ICPC**. (Colombia): pp. 1-14. 1992.

## **BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA**

1. **El Tubo Karsten**.  
[www.revista bit.cl/pdf/19articulo19.pdf](http://www.revista.bit.cl/pdf/19articulo19.pdf)

## **ANEXOS**

**Figura 58. Informe de la sección de Concretos del CII USAC, caracterización de agregados finos**





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA

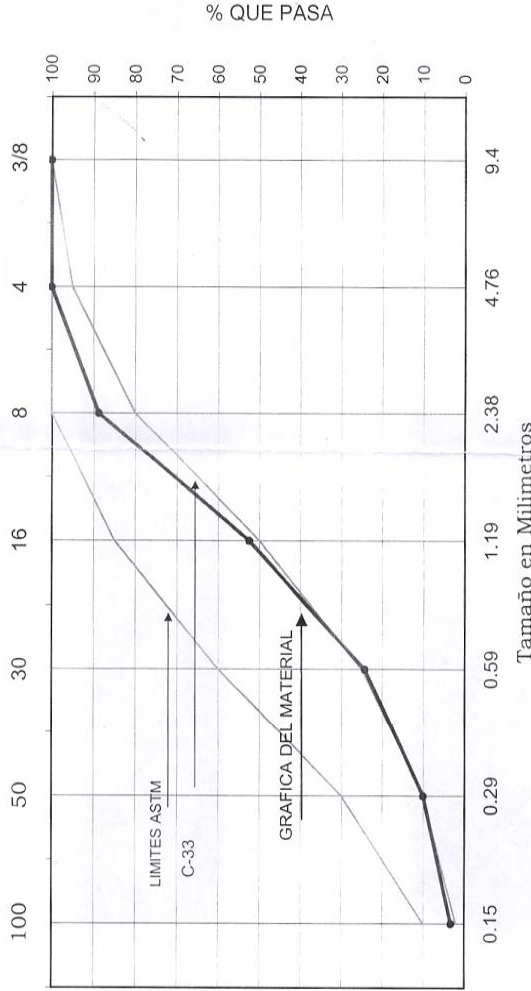


AGREGADO FINO PARA CONCRETO

INFORME No. S.C. -362		PROYECTO: Informe de Graduación	
Muestra: ARENA TRITURADA	Fecha: 30/09/2005	O.T. No. 18072	Lab. Concretos

CARACTERISTICAS FISICAS:

Peso Especifico	2.68
Peso Unitario (kg/ m <sup>3</sup> )	1679.74
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1271.02
Porcentaje de Vacios	37.32
Porcentaje de Absorcion	0.38
Contenido de Materia Organica	3
% Retenido en Tamiz 6.35	0.00
% que pasa Tamiz 200	2.16
% de Material Liviano	-----
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
Modulo de Finura	3.22



Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	100.00	100.00	88.73	52.38	24.19	9.97	3.16

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.
- c) Muestra procedente de Agregua.

Vo.Bo.

Ing. Cesar Alfonso Garcia Guerra  
DIRECTOR CII/USAC



Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes  
Jefe Sección de Concretos



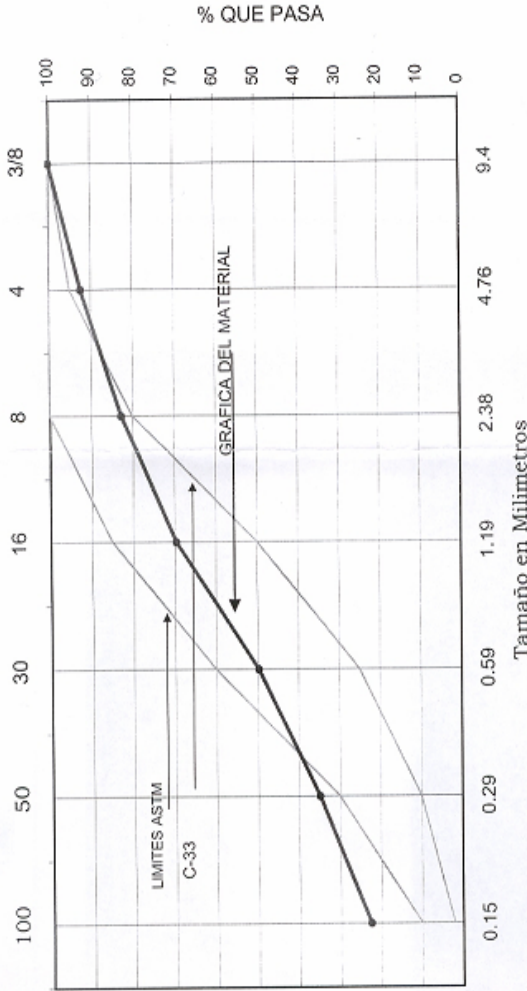
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



AGREGADO FINO PARA CONCRETO

INTERESADO: CARLOS E. SABÁ	INFORME No. S.C. -364	PROYECTO: Informe de Graduación
Muestra: Arena Amarilla	Fecha: 30/09/2005	O.T. No. 18072
		Lab. Concretos

CARACTERISTICAS FISICAS:	
Peso Especifico	1.98
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1211.40
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1160.04
Porcentaje de Vacios	38.82
Porcentaje de Absorcion	6.74
Contenido de Materia Organica	3
% Retenido en Tamiz 6.35	12.84
% que pasa Tamiz 200	19.12
% de Material Liviano	-----
% Desgaste por Sulfato de Sodio	-----
Modulo de Finura	2.49



Tamiz No.	9.40	4.76	2.38	1.19	0.59	0.29	0.15
% Que pasa	100.00	92.30	82.72	69.48	49.62	34.78	22.38

OBSERVACIONES:

- a) Muestra proporcionada por el interesado.
- b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.
- c) Muestra procedente de Bateñas Villa Nueva.

Vo.Bo.

Ing. Cesar Alfonso García Guerra  
DIRECTOR CII/USAC



Ing. Francisco Javier Ecuté Bantes  
Jefe Sección de Concretos





**Figura 59. Informe de la sección de Metales y Productos Manufacturados del CII USAC, caracterización de bloques**



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



**BLOQUES HUECOS DE HORMIGON PARA PAREDES O MUROS Y TABIQUES**

**1. DATOS GENERALES**

**INTERESADO:** CARLOS EDUARDO SAB-  
**PROYECTO:** TRABAJO DE GRADUACION  
**PROVEEDOR:** \*\*\*

**O.T.No.** 19385  
**INFORME No.** 776 - M  
**FECHA:** 21-OCT-2005  
**PAGINA:** 1

**2. RESULTADOS ENSAYO**

#	Identificacion	Largo cm.	Ancho cm.	Altura cm.	Peso kg.	Abs. %	Resistencia kg/cm2	Densidad kg/m3
172	MITAD Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	18.93	13.97	18.30	6.29	6.03	88.64	2,217.83
173	MITAD Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	19.00	13.93	18.87	6.32	6.12	58.80	2,230.60
174	MITAD Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	19.00	13.93	18.77	6.24	6.32	71.05	2,205.17
175	MITAD Bloques huecos de hormig n tipo pesado, Clase A, grado 1	19.00	13.90	19.10	6.27	6.19	53.68	2,186.93
176	MITAD Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	18.97	14.03	18.87	6.28	6.21	60.22	2,220.43
177	COMPLETO, DESPORTILLADO DE UNA ESQUINA Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	38.97	13.97	18.53	12.47	6.70	72.58	2,178.22
178	COMPLETO Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	39.20	13.90	18.73	12.45	6.38	80.20	2,181.33
179	COMPLETO, DESPORTILLADO DE UNA ESQUINA Bloque Huevo de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1	39.00	13.93	18.77	12.52	6.30	69.26	2,187.49

Las muestras fueron ensayadas de acuerdo a Norma Coganor NGO 41 054

**OBSERVACIONES:** Muestra proporcionada por interesado.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados

Vo.Bo. Ing. César Alfonso García Guerra  
Director C.I.I.





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



**BLOQUES HUECOS DE HORMIGON PARA PAREDES O MUROS Y TABIQUES**

**1. DATOS GENERALES**

INTERESADO: CARLOS EDUARDO SAB-  
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION  
PROVEEDOR: \*\*\*

O.T.No.	19385
INFORME No.	776 - M
FECHA:	21-OCT-2005
PAGINA:	2

**2. RESULTADOS ENSAYO**

#	Identificacion	Largo cm.	Ancho cm.	Altura cm.	Peso kg.	Abs. %	Resistencia kg/cm2	Densidad kg/m3
180	COMPLETO	39.10	13.97	18.67	12.50	6.61	67.51	2,183.06
		<b>Bloque Hueco de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1</b>						
181	COMPLETO DESPORTILLADO DE UNA ESQUINA	39.03	13.93	19.17	12.41	6.57	62.68	2,164.14
		<b>Bloque Hueco de hormig n Tipo Pesado, Clase A, Grado 1</b>						

Las muestras fueron ensayadas de acuerdo a Norma Coganor NGO 41 054

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por interesado.

Atentamente,

Ing. Pablo Christian De León Rodríguez  
Jefe Sección Metales y Productos Manufacturados



Vo.Bo. Ing. César Alfonso García Guerra  
Director C.I.I.



**Figura 60. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros propuestos**



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



O.T No.19,665

Informe No. 1-2006 S. AM.

**Interesado:** Carlos Eduardo Sabá Medrano  
**Proyecto:** Tesis "Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería".  
**Asunto:** Evaluación de la trabajabilidad, retención de agua, masa unitaria, contenido de aire, velocidad de endurecimiento, resistencia a la compresión; tensión y flexión, cambios de longitud y permeabilidad al agua a seis morteros  
**Fecha:** 14 de febrero de 2006

- 1 **Generalidades:** el interesado proporcionó los materiales necesarios, siendo estos los siguientes:
  - **Cemento Progreso UGC.**
  - **Cal hidratada Horcalsa.**
  - **Arena pómez, arena de trituración y arena amarilla.**
- 2 **Procedimiento:** se trabajó de acuerdo a lo indicado en normas ASTM aplicables.
- 3 **Resultados:**

**3.1 Trabajabilidad (ASTM C-1437):**

MORTERO	Cantidad de agua por bachada (ml)	Trabajabilidad promedio (%)
Sabieta Cal	365.9	107.5
Sabieta	350.9	108.0
Cernido Cal	554.6	109.0
Cernido	479.6	110.5
Repello Cal	562.0	105.0
Repello	514.0	108.5



### 3.2 Retención de agua (ASTM C-1506):

MORTERO	Trabajabilidad antes de la succión	Trabajabilidad después de la succión	Retención de Agua (%)
Sabieta Cal	110.0	85.0	77.3
Sabieta	106.0	53.0	50.0
Cernido Cal	111.5	88.5	79.4
Cernido	115.0	64.0	55.7
Repello Cal	107.5	95.0	88.4
Repello	114.0	82.5	72.4

### 3.3 Masa unitaria (ASTM C-138):

MORTERO	Masa unitaria (kg/m <sup>3</sup> )
Sabieta Cal	2,186.0
Sabieta	2,185.0
Cernido Cal	1,679.0
Cernido	1,768.0
Repello Cal	1,566.0
Repello	1,645.0

### 3.4 Contenido de aire (ASTM C-185, ASTM C-110):

MORTERO	Densidad del mortero libre de Aire (kg/m <sup>3</sup> )	% Aire Atrapado en volumen
Sabieta Cal	2,206.0	0.93
Sabieta	2,209.0	1.12
Cernido Cal	1,682.0	0.13
Cernido	1,795.0	1.51
Repello Cal	1,625.0	3.61
Repello	1,716	4.16





3.5 Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403):

Tiempo (min.)	Resistencia a la penetración (kg/cm <sup>2</sup> )					
	SABIETA CAL	SABIETA	CERNIDO CAL	CERNIDO	REPELLO CAL	REPELLO
120	9.00	12.37	2.39	3.37	0.84	5.34
150	10.97	13.22	2.81	4.36	1.12	8.44
180	13.50	14.91	3.37	4.92	2.25	14.06
210	19.69	17.44	3.87	5.62	3.23	17.86
240	23.06	31.22	4.71	8.44	5.77	29.53
270	26.72	44.29	5.27	13.64	7.31	36.56
300	40.07	63.27	5.76	18.84	9.56	52.73
330	49.92	111.09	6.18	21.09	10.69	67.49
360	92.81	150.46	6.47	26.71	13.64	93.51
390	139.21	210.92	6.89	35.15	14.62	108.27
420	149.05	286.85	7.31	45.70	16.31	127.96
450	205.29	359.97	7.73	61.17	18.84	161.71
480	236.23	-	8.01	73.20	23.06	191.23
510	314.98	-	8.99	99.84	26.44	250.29
540	351.53	-	9.28	126.55	27.56	368.41
570	-	-	10.41	163.11	30.09	
600	-	-	-	-	33.74	
630	-	-	-	-	45.70	
Fraguado inicial (min.)	216.00	241.00	887.00	333.00	491.00	221.00
Fraguado final (min.)	438.00	422.00	1580.00	569.00	788.00	442.00



### 3.6 Resistencia a la compresión (ASTM C-109)

Tiempo (Días)	Resistencia a la compresión (kg/cm.)					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
3	90.5	102.0	5.0	51.6	8.8	72.1
7	120.4	127.7	6.0	66.0	27.2	134.5
14	140.6	161.7	7.2	77.5	38.1	150.0
28	164.7	187.5	8.3	89.2	64.6	206.1
56	187.3	211.0	9.3	135.3	83.4	252.0

### 3.7 Resistencia a la flexión (ASTM C-348)

Tiempo (Días)	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
3	3.4	2.8	0.7	9.6	1.2	4.7
7	9.6	8.4	1.7	13.4	2.5	9.6
14	15.6	14.3	2.6	15.9	3.7	14.6
28	24.9	20.9	3.2	19.6	45.0	20.9
56	28.9	25.2	4.1	22.1	6.9	24.9

### 3.8 Resistencia a la tensión (ASTM C-190)

Tiempo (Días)	Resistencia a la tensión (kg/cm <sup>2</sup> )					
	Sabieta Cal	Sabieta	Cernido Cal	Cernido	Repello Cal	Repello
7	20.3	19.5	4.2	13.4	5.2	13.5
28	29.7	27.6	6.7	20.6	8.8	22.2
56	32.9	28.8	7.4	24.1	9.1	27.0



### 3.9 Cambios de longitud (ASTM C-490)

MORTERO	Cambio de Longitud Promedio (%)	
	28 días	56 días
Sabieta Cal	-3.34	-4.56
Sabieta	-2.53	-3.48
Cernido Cal	-24.63	-32.04
Cernido	-4.63	-6.40
Repello Cal	-22.99	-29.34
Repello	-8.88	-10.61

### 3.10 Permeabilidad al agua (sin norma)

#### 3.10.1 Permeabilidad juntas de mortero de levantado-block

MORTERO	VELOCIDAD DEL VIENTO	
	100 km/h	200 km/h
	Permeabilidad (ml/seg)	Permeabilidad (ml/seg)
Sabieta Cal	1.1	1.6
Sabieta	2.0	3.4

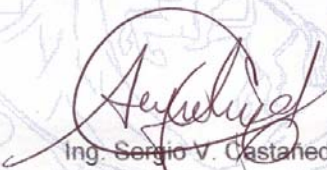




### 3.10.2 Permeabilidad de los morteros

MORTERO	VELOCIDAD DEL VIENTO	
	100 km/h	200 km/h
	Permeabilidad (ml/seg)	Permeabilidad (ml/seg)
Sabieta Cal	0.0016	0.0021
Sabieta	0.0040	0.0057
Cernido Cal	0.0046	0.0056
Cernido	0.0061	0.0009
Repello Cal	0.0022	0.0025
Repello	0.0012	0.0015

Atentamente:

  
Ing. Sergio V. Castañeda L.

Jefe Sección de Aglomerantes y Morteros

  
Vo.Bo. Ing. Cesar A. García G.

Director CII/USAC



**Figura 61. Informe de la Sección de Estructuras del CII USAC, evaluación de la adherencia de los morteros propuestos mediante el uso de prismas**



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



INFORME TÉCNICO No. E-4

O. T. 19367  
Página 1 de 2

INTERESADO: CARLOS EDUARDO SABÁ MEDRANO  
ASUNTO: ENSAYOS DE ADHERENCIA DE MAMPOSTERIA  
FECHA: FEBRERO DEL 2006

**GENERALIDADES:**

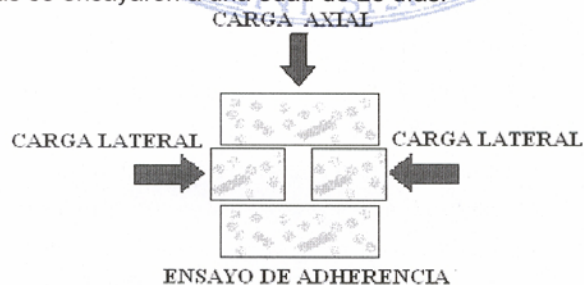
El interesado presento treinta prismas para la evaluación de adherencia con seis diferentes tipos de mortero, para ser ensayados en el laboratorio del Centro de Investigaciones de Ingeniería:

**ENSAYO DE PRISMAS DE ADHERENCIA:**

**Procedimiento de ensayo:**

Se trabajó según procedimiento para la evaluación de la adherencia de la mampostería utilizado en la sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC. Dicho procedimiento es el siguiente:

- ✓ Se coloca el prisma dentro del marco de adherencia para aplicarle una carga vertical de confinamiento (para este caso igual a cero debido a la evaluación de la adherencia sin fricción) y cargas laterales a los costados.
- ✓ Las cargas laterales se aplican hasta que los elementos se desplacen, tomando lecturas de la carga de falla inicial y de colapso.
- ✓ Los prismas se ensayaron a una edad de 28 días.







INFORME TÉCNICO No. E-4


O. T. 19367  
Página 2 de 2

RESULTADOS:

Tipo de Mortero	Esfuerzo de Falla Inicial (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Falla Final (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de Mortero	Esfuerzo de Falla Inicial (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Falla Final (kg/cm <sup>2</sup> )
SABIETA CAL	12.54	16.40	REPELLO	No presentó	5.48
	12.54	18.56		No presentó	4.86
	8.16	12.24		No presentó	5.39
	14.67	17.70		No presentó	6.32
	14.16	22.25		No presentó	4.52
SABIETA	No presentó	6.86	CERNIDO CAL	No presentó	2.77
	No presentó	5.74		No presentó	2.56
	No presentó	7.52		No presentó	2.31
	No presentó	9.60		No presentó	3.28
	No presentó	7.96		No presentó	2.45
REPELLO CAL	No presentó	3.28	CERNIDO	No presentó	5.36
	No presentó	3.96		No presentó	4.38
	No presentó	4.66		No presentó	4.90
	No presentó	3.50		No presentó	7.22
	No presentó	2.87		No presentó	7.29

  
Ing. Mario Rodolfo Corzo  
SECCION DE ESTRUCTURAS

Vo.Bo.

  
Ing. Cesar Garcia.  
DIRECTOR CII USAC

