



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

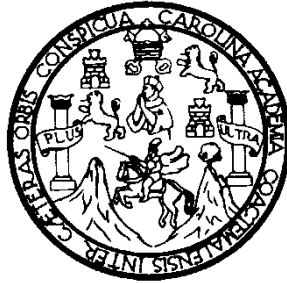
**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE  
CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL  
CONJUNTO CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE  
MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A  
COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA**

**Freddy Estuardo Gudiel González**

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, marzo de 2009

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO  
DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO  
CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL  
ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**FREDDY ESTUARDO GUDIEL GONZÁLEZ**

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MARZO DE 2009

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Julio Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Lionel Barillas Romillo
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

**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 DEL CONTENIDO DE CEMENTO  
DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO  
CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL  
ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el día 16 de septiembre de 2008.



**Freddy Estuardo Gudiel González**

Ingeniero Sergio V. Castañeda L.  
Colegiado 5319

Guatemala 04 de febrero de 2009

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Área de Materiales  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

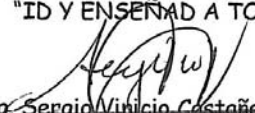
Ing. Quiñonez de la Cruz:

Por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de Graduación titulado "Evaluación de la incidencia del contenido de cemento del mortero en el comportamiento del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, por medio del ensayo de prismas a compresión, corte y adherencia", desarrollado por el estudiante universitario Freddy Estuardo Gudiel González quien contó con mi asesoría.

Considero que el trabajo elaborado por el estudiante Gudiel González, satisface los requisitos exigidos en la Facultad, por lo que recomiendo su aprobación,

Agradezco a usted la atención a la presente, atentamente

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

  
Ing. Sergio V. Castañeda Lemus

  
Asesor Titular de Graduación  
COLEGIADO No. 5319

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental

Tel. Oficina: 22328650

Tel. Celular 52212491

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala,  
13 de febrero de 2009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Freddy Estuardo Gudiel González, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Gudiel González, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES  
USAC

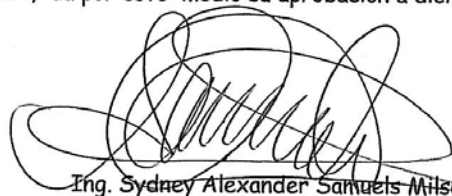
/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus y del Jefe del Área de Materiales de Construcción, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Freddy Estuardo Gudiel González, titulado EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, marzo 2009

/bbdeb.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.074.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO CEMENTO-MORTERO-UNIDAD DE MAMPOSTERÍA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESIÓN, CORTE Y ADHERENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Freddy Estuardo Gudiel González**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, marzo de 2009

/gdech



## **DEDICATORIA A:**

**DIOS** por que eres la luz que ilumina mi vida, mis pensamientos y estas siempre conmigo en todo momento, sin ti nada seria posible, gracias padre.

**MI MADRE** Irma Yolanda de Gudiel, por tu amor incondicional, llevo conmigo tus sabios consejos y siempre estarás en mi corazón.

**MI PADRE** Augusto Gudiel, por que eres mi mejor amigo y ahora tus enseñanzas me llevan a esta meta anhelada.

**MI ESPOSA** América Cermeño de Gudiel, gracias por tu amor, apoyo, comprensión y por ser parte de mi vida, te amo.

**MI HIJO** Freddy Jeancarlo, porque eres el regalo más lindo que Dios me ha dado.

**MIS HERMANOS** Sergio, Karina y Emy, gracias por estar conmigo en todo momento, les deseo lo mejor en la vida.

**MIS SOBRINOS** Katherine, pablo, Aileen, Keyla, Yuli, Paola, Diego, Pablo José y David, los quiero mucho.

**MI FAMILIA EN GENERAL** Por sus consejos, atención y apoyo.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**GUATEMALA** bella patria que me vio nacer y crecer.

**LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** por darme la oportunidad de haber estudiado en tan prestigiosa casa de estudios.

**LA FACULTAD DE INGENIERÍA**, por darme la oportunidad de haber recibido una formación académica profesional.

**La Constructora PROYECA**, por su valiosa colaboración, para la realización de los ensayos de laboratorio del presente trabajo de graduación, especialmente a Juan Pablo Castro, Director General y José Manuel Paz Director de Ejecución.

**La Empresa EMCO**, por el valioso apoyo que siempre he tenido de ellos en mi desarrollo laboral y profesional, especialmente al **Sr. Leonel Dahinten** por su valiosa enseñanza.

**Ing. Sergio Castañeda**, por su valiosa colaboración en la asesoría del presente trabajo de graduación.

**Inga. Telma Cano**, por su apoyo para la realización de los ensayos de laboratorio de este trabajo de graduación.

**Ing. Mario Corzo**, por su valioso aporte en el desarrollo de este trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XI
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>RESUMEN</b>	XVII
<b>OBJETIVOS</b>	XIX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXI
<b>1. MAMPOSTERÍA</b>	<b>1</b>
1.1. Definición	1
1.2. Tipos	1
1.2.1. Según el material	1
1.2.2. Según su arquitectura	1
1.2.3. Según su empleo en el edificio	1
1.2.3.1. Mampostería reforzada o estructural	1
1.2.3.2. Mampostería confinada	2
1.2.3.3. Mampostería simple	2
1.3. Elementos de la mampostería	2
1.3.1. Unidades	2
1.3.2. Morteros	2
1.3.3. Grout	3
1.3.4. Refuerzo	3
1.3.5. Cimientos	3
1.3.6. Muros	4
1.3.7. Entrepisos	4
1.3.8. Losas	4
1.4. Normas y ensayos aplicables	5

1.4.1. Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (ASTM )	5
1.4.2. Comisión Guatemalteca de normas (COGUANOR)	7
<b>2. MORTEROS DE MAMPOSTERÍA</b>	<b>9</b>
2.1. Definición	9
2.2. Tipos	9
2.2.1. Morteros calcáreos	9
2.2.2. Morteros de Cemento Pórtland y cal	10
2.2.3. Morteros de Cemento	10
2.3. Propiedades de los morteros	14
2.3.1. Estado plástico	14
2.3.1.1. Manejabilidad	14
2.3.1.2. Retención de agua	15
2.3.1.3. Velocidad de endurecimiento	16
2.3.1.4. Contenido de aire	17
2.3.2. Estado endurecido	18
2.3.2.1. Retracción	18
2.3.2.2. Adherencia	18
2.3.2.3. Resistencia a compresión	19
2.3.2.4. Durabilidad	20
2.3.2.5. Permeabilidad	21
2.3.2.6. Eflorescencia	21
2.3.2.7. Apariencia	21
2.4. Materiales	22
2.4.1. Agua	22
2.4.2. Agregado fino	23
2.4.2.1. Tipos	23
2.4.3. Cemento	24

2.4.3.1. Tipos	24
2.4.4. Cal	26
2.4.5. Aditivos	26
2.5. Aporte estructural	27
2.5.1. Mortero de levantado	27
2.6. Normas aplicables	28
<b>3. MUROS DE MAMPOSTERÍA</b>	<b>29</b>
3.1. Definición	29
3.2. Tipos	29
3.2.1. Según su aspecto físico	29
3.2.2. Según su función	29
3.2.2.1. Muro estructural de mampostería	29
3.2.2.2. Muro no estructural de mampostería	29
3.2.3. Según su ubicación	30
3.2.3.1. Muros exteriores	30
3.2.3.2. Muros interiores	30
3.2.4. Según su material	30
3.3. Características	30
3.4. Juntas de construcción	31
3.5. Componentes	31
3.5.1. Cemento	31
3.5.2. Mortero	32
3.5.3. Unidad de mampostería	33
3.5.3.1. Definición	33
3.5.3.2. Generalidades	34
3.5.4. Acero de refuerzo	35
3.6. Conjunto Cemento-mortero-unidad de mampostería	35
3.6.1. Patologías del conjunto Cemento-mortero-unidad	

de mampostería	36
3.6.1.1. Fisuras o grietas	36
3.6.1.2. Acciones higrotèrmicas	37
3.6.1.3. Deficiencias del proyecto	37
3.6.1.4. Fisuras en acabados	38
3.6.2. Prismas de mampostería	38
3.6.2.1. Resistencia a compresión	39
3.6.2.2. Corte	40
3.6.2.3. Adherencia	41
3.7. Normas aplicables	41
<b>4. DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>43</b>
4.1. Caracterización de materiales	43
4.1.1. Cemento	43
4.1.2. Agregado fino	44
4.1.3. Blocks	45
4.2. Elaboración y evaluación de morteros	46
4.3. Ensayo de prismas	53
4.3.1. Compresión	54
4.3.2. Corte	56
4.3.3. Adherencia	58
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>63</b>
5.1. Materiales	63
5.1.1. Cemento tipo UGC	63
5.1.2. Agregado fino	63
5.1.3. Blocks de concreto	63
5.2. Morteros	63
5.2.1. Estado fresco	64

5.2.1.1. Relación a/c y trabajabilidad	64
5.2.1.2. Contenido de aire	64
5.2.1.3. Retención de agua	65
5.2.2. Estado endurecido	65
5.2.2.1. Resistencia a compresión	65
5.2.2.2. Resistencia a tensión	66
5.3. Prismas	66
5.3.1. Compresión	66
5.3.2. Corte	67
5.3.3. Adherencia	68
5.3.4. Conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería	68
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>75</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>77</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>79</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>81</b>





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### Figuras

1.	Elaboración de morteros de mampostería en obra	8
2.	Elaboración de morteros de mampostería en obra	11
3.	Equipo ensayo trabajabilidad	15
4.	Equipo ensayo retención de agua morteros	16
5.	Equipo ensayo resistencia a la penetración (velocidad de endurecimiento)	17
6.	Máquina universal, ensayo a compresión	20
7.	Ensayo resistencia a compresión de mortero	33
8.	Unidad de mampostería	34
9.	Conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería	38
10.	Ensayo a compresión prisma	40
11.	Ensayo a corte prisma	40
12.	Ensayo adherencia prisma	41
13.	Control de calidad en conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería	42
14.	Equipo ensayos blocks y agregado fino	45
15.	Medidas block	45
16.	Ensayo a compresión blocks	46
17.	Molde probetas resistencia a tensión morteros	47
18.	Curado probetas de morteros	48
19.	Resultados relación a/c morteros	49
20.	Dosificación morteros	49
21.	Masa unitaria morteros	50
22.	Contenido de aire morteros	51

23.	Velocidad de endurecimiento	51
24.	Retención de agua morteros	52
25.	Resultados resistencia a compresión morteros	53
26.	Resultados resistencia a tensión morteros	54
27.	Elaboración de prismas	55
28.	Falla típica ensayo a compresión prisma	56
29.	Resultados resistencia a compresión prismas	57
30.	Ensayo a corte prismas	57
31.	Resultados resistencia a corte prismas	59
32.	Resultados adherencia prismas	60
33.	Ensayo adherencia prismas	60
34.	Resultados ensayos prismas (7 días)	61
35.	Resultados ensayos prismas (28 días)	62

### **Tablas**

I.	Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería	5
II.	Usos de los morteros de cemento	12
III.	Requerimientos para especificación por proporciones	12
IV.	Pesos de materiales	13
V.	Requerimientos para especificación por propiedades	13
VI.	Límites permisibles calidad de agua	22
VII.	Tipos de aditivos químicos según la norma ASTM C-494	26
VIII.	Características compuestos químicos cemento	32
IX.	Tipos de movimientos en muros de mampostería, causas y efectos	36
X.	Resultados Cemento UGC	43
XI.	Resultados caracterización agregado fino	44
XII.	Resultados blocks norma COGUANOR 14056	46

XIII.	Condiciones morteros evaluados	48
XIV.	Resultados morteros estado fresco	50
XV.	Resultados morteros estado endurecido	52
XVI.	Resultados ensayo a compresión prismas	55
XVII.	Resultados ensayo a corte prismas	57
XVIII.	Resultados ensayo adherencia prismas	59
XIX.	Resultados ensayos prismas	60



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b><math>A_b</math></b>	Área bruta.
<b>ACI</b>	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto).
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos.
<b>ASTM</b>	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales).
<b><math>Adh_m</math></b>	Resistencia adherencia prismas.
<b><math>F'_m</math></b>	Resistencia a compresión prismas.
<b><math>f'_{c_m}</math></b>	Resistencia a compresión morteros.
<b><math>f'_{t_m}</math></b>	Resistencia a tensión morteros.
<b><math>V'_m</math></b>	Resistencia a corte prismas.
<b>M13</b>	Mortero proporción 1:3
<b>M145</b>	Mortero proporción 1:4.5

<b>M16</b>	Mortero proporción 1:6
<b>°C</b>	Grados <i>Celsius</i> .
<b>kg</b>	Kilogramo.
<b><math>\sigma</math></b>	Esfuerzo.
<b>%</b>	Porcentaje.

## GLOSARIO

<b>Absorción</b>	Es la cantidad de agua que penetra en los poros de la unidad o espécimen, expresada en unidades de masa/volumen (Aa) o como un % de la masa (peso) seca de la unidad o espécimen (Aa%).
<b>Adición</b>	Material mineral que es incorporado al cemento o al concreto en diferentes proporciones a fin de mejorar o transformar algunas de las propiedades.
<b>AGIES</b>	Siglas Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos.
<b>ASTM</b>	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>Cemento Mezclado</b>	Mezcla íntima y uniforme de cemento Portland con distintos tipos de adición que desarrollan propiedades para usos especiales en la construcción.
<b>COGUANOR</b>	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.



## **Contenido de**

**Humedad** Cantidad de agua presente en una unidad o espécimen en el momento de evaluarlo, expresado, por lo general, como un porcentaje del peso del espécimen secado al horno.

## **Contracción lineal**

**por secado** Cambio (reducción) en la longitud de la unidad o espécimen debido a la pérdida de agua (secado) de su volumen de concreto, desde el estado de saturación hasta una masa y una longitud de equilibrio, determinada bajo condiciones específicas de secado acelerado.

**Control de calidad** Acciones que toma un productor o un constructor para asegurar un control sobre lo que se está ejecutando y lo que se está suministrando, para asegurar que se están cumpliendo con las especificaciones y normas de aplicación y con las prácticas correctas de ejecución.

**Densidad** Relación entre el volumen bruto y la masa (peso) de una unidad o espécimen.

**Fraguado** Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.

<b>Mortero</b>	Mezcla constituida por material cementante, agregado fino, agua, con o sin aditivos empleada para obras de albañilería, como material de pega, revestimiento de paredes, etc.
<b>Norma</b>	Documento de aplicación voluntaria aprobado por un organismo de normalización reconocido que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico.
<b>Puzolana</b>	Material con alto contenido de silicio o silicio-aluminio de origen natural o industrial, que una vez pulverizado en presencia de agua reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando a temperatura ambiente compuestos con propiedades hidráulicas permanentemente insolubles y estables.
<b>Relación a/c</b>	Es el resultado de dividir la masa del agua entre la masa del cemento utilizados en un concreto o mortero.
<b>Resistencia a la compresión</b>	Es la carga máxima a compresión que resiste una unidad o espécimen, dividida por el área de la sección

transversal que la soporta, pudiendo ser esta el área bruta o el área neta.

**Textura**

Regularidad de la superficie de una unidad o chapa determinada por la dosificación de los materiales y del proceso de fabricación.

**Trabajabilidad**

Característica de una mezcla o mortero en cuanto a la facilidad que presenta para ser colocado.

## **RESUMEN**

En Guatemala el control de calidad en la mampostería es reducido debido a la variabilidad en la mano de obra, materiales y procesos utilizados, provocando que el principal interesado (propietario) no cuente con una construcción que le garantice un comportamiento adecuado ante un evento extraordinario como puede ser un sismo o un fenómeno natural. La mampostería involucra materiales con diferentes propiedades físico mecánicas, esto requiere que se evalúen las características de cada uno así como el conjunto de ellos, siguiendo procedimientos y especificaciones de las normas técnicas aplicables (generalmente ASTM).

El mortero ocupa entre el 10 y el 20 % del volumen de un muro, pero su efecto en el comportamiento de este es mayor que lo que indica este porcentaje, su diseño, dosificación y elaboración se deja bajo la responsabilidad del encargado de la obra, quien se basa en su experiencia, por lo general el parámetro utilizado para su control o diseño es el valor de la resistencia a compresión, descuidando aspectos como la adherencia, retención de agua.

El presente trabajo evaluó el comportamiento del conjunto cemento-mortero-unidades de mampostería, utilizando morteros de levantado con diferentes contenidos de cemento, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede mencionar que la cantidad de cemento tiene importancia para los valores de esfuerzos que se alcancen, pero también factores como las características del mortero y el curado de los muros pueden ayudar a mejorar los valores de corte y adherencia.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Evaluación de la incidencia del contenido de cemento del mortero en el comportamiento del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, por medio del ensayo de prismas a compresión, corte y adherencia.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Caracterizar los materiales utilizados para elaborar los morteros, por medio de procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM aplicables.
2. Elaborar y evaluar morteros con diferentes contenidos de cemento tipo UGC, por medio de procedimientos y especificaciones indicados en las normas ASTM y COGUANOR aplicables.
3. Elaborar y evaluar primas a compresión, corte y adherencia a 7 y 28 días.
4. Analizar el comportamiento mecánico del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.



## **INTRODUCCIÓN**

En Guatemala el control de calidad en la mampostería es reducido debido a la variabilidad en la mano de obra, materiales y procesos utilizados, el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería cobra especial relevancia en virtud que es con base a su comportamiento que se toman o se obtienen los principales criterios de diseño en mampostería.

En el presente trabajo se evaluó la incidencia del contenido de cemento en morteros de levantado, por medio de la caracterización de los materiales y el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, realizando ensayos a corte, compresión y adherencia a 7 y 28 días.

El capítulo uno incluye aspectos teóricos sobre la mampostería, como su definición, tipos, clasificación, ensayos de laboratorio y otros, en el capítulo dos se presentan conceptos sobre morteros de mampostería, tipos, propiedades, componentes y la normativa aplicable. Dentro del capítulo tres se abordan aspectos relativos a muros de mampostería, tipos, clasificación, materiales, así también los temas de prismas, conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería y los ensayos aplicables a estos.

El desarrollo experimental se presenta en el capítulo cuatro, donde se explica la metodología utilizada, los resultados obtenidos, tablas y gráficas realizados. Por último, el capítulo cinco contiene el análisis de los resultados de materiales y del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, al final se incluyen las conclusiones y recomendaciones producto del estudio.





# 1. MAMPOSTERÍA

## 1.1. Definición

Se entiende por mampostería el sistema constructivo por medio del cual unidades formadas o moldeadas, por lo general lo suficientemente pequeñas para que una sola persona los manipule, se adhieren con mortero para formar paredes o muros. (1)

Como mampostería se entiende la elaboración de estructuras, mediante la disposición ordenada de unidades de mampostería, cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con las del elemento que se va a construir (muro, bóveda, etc.), y cuyo peso y tamaño depende del sistema de manejo que se vaya a emplear (manual, equipo mecánico, equipo motorizado, etc.). (2)

## 1.2. Tipos

### 1.2.1. Según el material

- Todo concreto
- Combinada con otros materiales

### 1.2.2. Según su arquitectura

- Sencilla
- Con acabados
- Unidades con acabados

### 1.2.3. Según su empleo en el edificio

#### 1.2.3.1. Mampostería reforzada o estructural

Es la mampostería con refuerzo embebido en celdas rellenas, conformando un sistema monolítico. También tiene refuerzo horizontal cada cierto número de hiladas. El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple. Los muros que la conforman deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos.

#### 1.2.3.2. Mampostería confinada

Es la mampostería con elementos de concreto reforzado (vigas y columnas de amarre), en su perímetro, vaciados después de construir el muro de mampostería simple.

#### 1.2.3.3. Mampostería simple

Es el tipo de mampostería estructural sin refuerzo. Los esfuerzos dominantes son de compresión los cuales deben contrarrestar los esfuerzos de tensión producidos por las fuerzas horizontales. Los muros deben soportar tan solo su propio peso y servir como división (partición) entre dos espacios.

### 1.3. Elementos de la mampostería

#### 1.3.1. Unidades

Elementos que en conjunto, se utilizan para elaborar una mampostería. Pueden ser de diversos materiales piedra, barro, arcilla cocida, concreto, vidrio, etc., por lo general tienen forma de prisma rectangular.

#### 1.3.2. Morteros

El mortero de pega es el elemento que une las unidades de mampostería a través de las juntas verticales y horizontales, en virtud de su capacidad de adherencia. Debe tener una buena plasticidad y consistencia para poder colocarlo de la manera adecuada y suficiente capacidad de retención de agua

para que las unidades de mampostería no le roben la humedad y se pueda desarrollar la resistencia de la interface mortero-unidad, mediando la correcta hidratación del cemento del mortero.

#### 1.3.3. Grout

Es una mezcla fluida de concreto para llenar cavidades, sin sufrir segregación de sus componentes, además deberán de tener alta plasticidad para permitir el vaciado y alto asentamiento.

#### 1.3.4. Refuerzo

El refuerzo forma parte de la mampostería, se requiere en múltiples casos y para diversidad de condiciones, por lo cual debe ser definido por el diseñador, tanto en el tipo como en la cantidad. Por lo general se colocan dos tipos de refuerzo: de funcionamiento y de sollicitación. El primero hace posible el funcionamiento del sistema como tal (conexiones entre muros o en los elementos de bloque sin traba, etc.); el segundo tiene la función estructural de absorber los esfuerzos de tracción, compresión y cortante, entre otras. Los distintos tipos de refuerzo deben estar embebidos en mortero, para que éste pueda transmitir los esfuerzos entre las unidades de mampostería y el refuerzo y viceversa; y para protegerlo de las condiciones atmosféricas agresivas

#### 1.3.5. Cimientos

Complementa la lista de componentes de la construcción en mampostería estructural, las cargas llegan a la cimentación en forma uniformemente distribuida a lo largo de los muros del primer nivel. Esta característica genera la necesidad de tomar estas cargas mediante unas pocas alternativas de cimentación.

- Cimentación o zapatas corridas, de dimensión uniforme a todo lo largo de cada muro.

- Cimientos continuos, placas de cimentación que ocupan toda el área proyectada de la edificación, normalmente recomendados cuando la capacidad portante del terreno es muy baja, ó cuando su compresibilidad es muy alta.

#### 1.3.6. Muros

Elemento estructural de longitud o altura considerable con relación a su espesor, elaborado únicamente con mampostería.

#### 1.3.7. Entrepisos

Las funciones o aportes estructurales de las placas aéreas de entrepiso son principalmente:

- Soportar cargas verticales y conducir las hacia los muros de apoyo.
- Repartir las fuerzas horizontales (de viento, de sismo o de asentamiento), entre los muros de apoyo. Esta repartición es realizada según las características de la placa, así :
  - Si es muy rígida, horizontalmente, las reparte en proporción a la rigidez de los muros.
  - Si la placa es flexible, horizontalmente, las reparte en proporción a las áreas que corresponden a cada muro de apoyo.

#### 1.3.8. Losas

El sistema estructural de cubierta es de importancia especial en la mampostería estructural, desde el punto de vista de aporte a la estructura, la cubierta puede ser:

- Placa
- Vigas de amarre

**Tabla I Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería**

Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería f'm		
Características unidades	Características morteros	Características prismas
Resistencia	Resistencia	Colocación
Absorción	Espesor	Proceso de elaboración
Humedad	Relación a/c	Dirección de carga
Relación altura-espesor	Características de deformación	Adherencia
Geometría	Retención de agua	

Fuente (2)

#### 1.4. Normas y ensayos aplicables

La mayoría de países tienen normativa propia donde se indican los procedimientos y especificaciones para cada caso, en Guatemala la Comisión Guatemalteca de Normas COGUANOR es el organismo encargado de esta tarea, generalmente basadas en las normas de la ASTM. Para la industria de la construcción existe un gran número de normas enfocadas principalmente a los productos, a los métodos de prueba en laboratorio y para la coordinación modular.

##### 1.4.1. Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (ASTM )

- Alambre liso de acero para refuerzo de concreto (ASTM A-82).
- Unidades de concreto para mampostería estructural (ASTM C-90)
- Cemento para mampostería (ASTM C-91).
- Agregados usados en morteros de mampostería (ASTM C-144).
- Especificaciones del mortero para unidades de mampostería (ASTM C-270).
- Especificaciones estándar para agregados ligeros para unidades de mampostería de concreto (ASTM C-331).

- Agregados para mortero de relleno utilizado en mampostería (ASTM C-404).
- Determinación de la contracción lineal por secado en unidades (bloques y ladrillos), de concreto, para mampostería (ASTM C-426).
- Lechadas (grouts) para mampostería (ASTM C-476).
- Métodos de ensayo para la evaluación, en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada (ASTM C-780).
- Método para determinar la resistencia a la tracción indirecta en unidades de mampostería (ASTM C-1006).
- Método para la medición de la resistencia a la adherencia por flexión de la mampostería (ASTM C-1072).
- Mortero premezclado (de larga duración) para mampostería (ASTM C-1142).
- Método estándar para la resistencia a compresión de prismas de mampostería (ASTM C-1314).
- Términos y definiciones sobre mampostería de concreto (ASTM C-1180, C-1209, C-1232).
- Resistencia a la compresión de prismas de mampostería (ASTM E-447).
- Método de ensayo para determinar la penetración y la filtración de agua a través de mampostería (ASTM E-514).
- Determinación de la adherencia en prismas de mampostería sometidos a flexión (ASTM E-518).
- Método de ensayo estándar para la tensión diagonal (corte) en ensamblados de mampostería (ASTM E-519).
- Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería (ASTM E-592).

#### 1.4.2. Comisión Guatemalteca de normas (COGUANOR)

- NGO 41 001 Cementos hidráulicos mezclados. Terminología y especificaciones.
- NGO 41 004 Cementos hidráulicos mezclados. Muestreo.
- NGO 41 001 Cal hidratada.
- NGO 41 022 Ladrillos de barro cocido. Especificaciones.
- NGO 41 023 Ladrillos de barro cocido. Toma de muestras.
- NGO 41 054 Bloques huecos de hormigón para paredes o muros y tabiques. Especificaciones.
- NGO 41 055 Bloques huecos de hormigón para paredes o muros y tabiques. Toma de muestras.
- NGO 41 066 Agregado o áridos. especificaciones de los agregados para morteros de albañilería.





## **2. MORTEROS DE MAMPOSTERÍA**

### 2.1. Definición

Pueden definirse como la mezcla de material aglomerante (Cemento Pórtland y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto y son ampliamente utilizados para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros, o para recubrirlos, en cuyo caso se le conoce como recubrimiento, repello o revoque. (3)

### 2.2. Tipos

Dentro de los morteros se pueden distinguir dos familias:

- Los aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Los hidráulicos que endurecen bajo efecto del agua, ya que poseen en su composición elementos que se obtienen por calcinación de calizas impurificadas con sílice y alúmina que les permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas.

#### 2.2.1. Morteros calcáreos

Como es sabido, la cal es un plastificante y ligador conocido desde la antigüedad, 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. La cal de mayor uso es la hidratada. El agregado fino para estos morteros 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.

### 2.2.2. Morteros de Cemento Pórtland y cal

Los morteros de Cemento Pórtland y cal deben combinarse de tal manera que se aprovechen las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del Cemento Pórtland, es importante tener en cuenta que cada adición de cal incrementa la cantidad de agua de mezclado necesaria, para lograr las condiciones deseadas debe buscarse una combinación adecuada. Las especificaciones de uso común en Guatemala se basan en la norma ASTM C-270 "*Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*" (Especificación estándar para morteros de mampostería). Esta cubre cuatro tipos de morteros, M, S, N y O, son ordenados en orden de mayor a menor en cuanto a fuerza compresiva y de menor a mayor en facilidad de "moldeabilidad".

Pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero en ningún caso por ambas razones. La especificación por proporción rige siempre que se hace referencia a la norma ASTM C-270 y no se menciona un método específico. El mortero especificado por proporción según la norma debe cumplir con lo indicado en la tabla I, basándose en las masas de los materiales de la tabla II. Mientras que el mortero especificado por propiedades debe cumplir con lo indicado en la tabla III. (Ver tablas I, II y III).

### 2.2.3. Morteros de cemento

Cuando se requieran resistencias elevadas, se puede usar como aglomerante Cemento Pórtland. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo con la relación agua-cemento usada. La fabricación de este mortero, que es hidráulico ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y el agregado y luego se añade el agua. Los usos de los morteros de cemento se pueden reunir en cuatro grandes categorías:

- Morteros que proveen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión, y/o resistan la abrasión.
- Morteros que mantengan elementos en la posición deseada.
- Morteros que permitan emparejar ciertas unidades estructurales (revoques y revestimientos).
- Morteros que sirvan como relleno de juntas entre diferentes elementos constructivos (reparaciones de columnas, vigas, etc.).

**Figura 1 Elaboración de mortero de mampostería en obra**



Lo acostumbrado en el uso de morteros de cemento es la dosificación por partes de cemento y agregado (1:n), la mayoría de las veces haciéndose caso omiso, o desconociéndose, la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos. Es claro entonces que, planteada la necesidad de diseñar y dosificar el mortero de acuerdo con las condiciones de resistencia particulares y algunas otras propiedades y características, se requiere un método claro y preciso.

**Tabla II Usos de los morteros de cemento**

Proporción	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para la impermeabilización y muros de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega de ladrillos y bloques en muros. Muros finos
1:5	Muros exteriores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:6 y 1:7	Muros interiores: pega de ladrillos, bloques, baldosas y mampostería en general. Muros no muy finos.
1:8 y 1:9	Pega para construcciones que se demolerán pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: (3)

**Tabla III Requerimientos para especificación por proporciones**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen					Proporción de agregados
		Cemento Pórtland o mezclado	Cemento de mampostería			Cal hidratada	
			M	S	N		
Cemento-Cal	M	1	--	--	--	¼	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	--	--	--	Entre ¼ y ½	
	N	1	--	--	--	Entre ½ y 1 ¼	
	O	1	--	--	--	Entre 1 ¼ y 2 ½	
Cementos de albañilería	M	1	--	--	1	--	
	M	--	1	--	--	--	
	S	½	--	--	1	--	
	S	--	--	1	--	--	
	N	--	--	--	1	--	
O	--	--	--	1	--		

Fuente: (4)

**Tabla IV Pesos de materiales**

Material	Peso kg/m <sup>3</sup>
Cemento Portland	1505
Cemento mezclado	Peso impreso en la bolsa
Cemento de albañilería	Peso impreso en la bolsa
Cal hidratada	640
Arena, seca y suelta	1280

Fuente: (4)

**Tabla V Requerimientos para especificación por propiedades**

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión, mínima a 28 días Kg/cm <sup>2</sup>	Retención de agua mínima %	Contenido de aire máximo	Proporción de agregados
Cemento-Cal	M	175	75	19	No menos de 2 ¼ y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	126	75	19	
	N	53	75	21*	
	O	25	75	21*	
Cementos de albañilería	M	175	75	**	
	S	126	75	**	
	N	53	75	**	
	O	25	75	**	

\* Si hay refuerzo estructural, y el mortero es de cemento-cal, el contenido máximo de aire es de 12%. \*\* Si hay refuerzo estructural, y el morteros en de cemento de albañilería, el contenido máximo es de 18%.

Fuente: (4)

### 2.3. Propiedades de los morteros

La evaluación de las propiedades de los morteros puede considerarse como una medida de control de calidad. Por lo regular, se toman en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido. Si un mortero cumple con dichas características, fraguará y endurecerá dentro del tiempo y resistencia esperados.

El agua del mortero no se limita a la obra puesto que parte del agua de la mezcla será absorbida por las unidades de mampostería o se evaporará. El albañil puede decidir la cantidad correcta de agua a añadir basado en el tipo de unidades de mampostería y de las condiciones ambientales, la norma ASTM C-270 establece que el mortero debe mezclarse "con la máxima cantidad de agua para producir una consistencia que facilite el trabajo".

#### 2.3.1. Estado plástico

##### 2.3.1.1. Manejabilidad

Es una medida de la facilidad de colocación de la mezcla, en las unidades de mampostería o en revestimientos. Está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico, la consistencia del mortero debe cambiar en virtud de las condiciones climáticas en el lugar del proyecto.

En general, se acepta como medida de la manejabilidad, el valor de fluidez de la mezcla obtenido en la mesa de flujo de acuerdo a la norma ASTM C-230 "*Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*" (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico). Dentro de los principales factores que pueden afectar la consistencia y por tanto la trabajabilidad se encuentran:

- Características del agregado fino (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.

**Figura 2 Equipo ensayo trabajabilidad**



#### 2.3.1.2. Retención de agua

Es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando queda en contacto con una superficie absorbente (como una unidad de mampostería). Esto permite que las unidades puedan ser acomodadas, alineadas y niveladas, por lo que resulta ser uno de los factores de mayor incidencia en la adherencia entre morteros y unidades.



La retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia a la compresión del mortero ya que afecta la hidratación del cemento, adquiere mayor importancia en el caso de que las unidades utilizadas presenten una alta absorción (las unidades deben de tener un contenido de humedad adecuado, húmedas no mojadas). Puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, aunque hoy en día se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

**Figura 3 Equipo ensayo retención de agua morteros**



#### 2.3.1.3. Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, éstos dependen de diversos factores tales como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra,

hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos. La norma ASTM C-403 "*Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance*" (Método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración), indica el procedimiento para este ensayo.

**Figura 4 Equipo ensayo velocidad de endurecimiento, resistencia a la penetración**



#### 2.3.1.4. Contenido de aire

Es una propiedad de gran importancia que afecta su comportamiento en estado fresco y endurecido, puede producirse por efectos mecánicos o de manera intencional por medio de aditivos inclusores de aire. La adherencia disminuye cuando aumenta el contenido de aire.

## 2.3.2. Estado endurecido

### 2.3.2.1. Retracción

Es la pérdida de volumen del mortero y se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua-cemento. El agregado soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de mucho viento el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas, lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento.

Se pueden distinguir tres tipos de variaciones de volumen que afectan al mortero:

- Derivada de las condiciones de humedad (retracción hidráulica).
- Derivada de las condiciones de temperatura (retracción térmica).
- Derivada de composición atmosférica, especialmente la presencia de anhídrido carbónico (retracción por carbonatación).

Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos.

### 2.3.2.2. Adherencia

La propiedad más importante del mortero es su habilidad para adherirse a las piezas de mampostería o acero. En general, la adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas

transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura. La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión. En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero, así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería ya que permiten una íntima unión entre las piezas. Sin curado húmedo, los morteros con el contenido de humedad mayor logran un curado mejor y alcanzan mayor resistencia a la adherencia. Los ensayos en especímenes almacenados al aire favorecen a los morteros que contienen cal porque ésta retiene mayor cantidad de agua.

#### 2.3.2.3. Resistencia a compresión

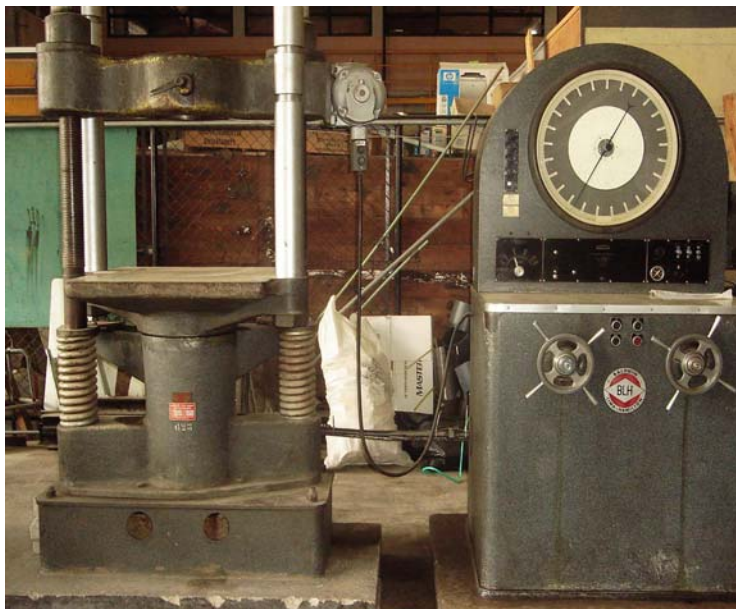
Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas, siendo ésta un indicio de las resistencias a esfuerzos de corte y tensión. Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de agregado, la primera dice: con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero; y la segunda: con el mismo porcentaje de cemento en volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquél que tenga la mayor densidad, o sea aquél que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

#### 2.3.2.4. Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo. Los principales factores que influyen en la durabilidad son:

- Eflorescencias
- Efecto de la congelación
- Permeabilidad

**Figura 5 Máquina universal, ensayo a compresión**



#### 2.3.2.5. Permeabilidad

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. Los morteros trabajables y uniformes, pueden hacer que la mampostería sea más resistente a la permeabilidad al agua. Cuando un mortero no es trabajable, los albañiles deben golpear suavemente las piezas de mampostería para colocarlas en su sitio. El resultado de esto, es que la junta de mortero no es tan buena, y se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración. El agua puede incorporarse a la mezcla por medio de dos mecanismos o procesos diferentes:

- Presión hidrostática (el agua atraviesa la masa del mortero).
- Capilaridad (el agua asciende por efecto de la tensión superficial).

Debido a las características de los morteros estos son casi impermeables en comparación con algunos tipos de unidades y en la interface de estos con el mortero, por esta razón esta propiedad debe estudiarse dentro del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

#### 2.3.2.6. Eflorescencia

Es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto de con ella, se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

#### 2.3.2.7. Apariencia

Un aspecto que tiene importancia en el mortero es su apariencia, especialmente en mampostería de bloques a la vista. En este caso, la plasticidad de la mezcla, la selección y dosificación adecuada de sus componentes son de vital importancia en la colocación y el acabado de superficies. El color y la textura pueden mejorarse con colorantes inorgánicos o con aditivos especiales.

## 2.4. Materiales

### 2.4.1. Agua

Se puede definir como aquel componente del mortero en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados. Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

**Tabla VI Límites permisibles calidad de agua**

Límites permisibles para la calidad del agua	
Descripción	Límite permisible
Sólidos en suspensión	5 000 ppm máximo
Materia Orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y Bicarbonatos alcalinos (Alcalinidad total expresada en $\text{NAHCO}_3$ )	1 000 ppm máximo
Sulfatos (Ión $\text{SO}_4$ )	600 ppm máximo
Cloruros (Ión $\text{Cl}$ )	1 000 ppm máximo
pH	Entre 5.5 y 8

Fuente (4)

El agua que sea potable y que no tenga un pronunciado olor o sabor puede usarse para mezclas de morteros. Si embargo, esto no es rigurosamente cierto, debido a que dentro del agua potable se pueden encontrar disueltas en altas concentraciones sales, cítricos o azúcares, entre otros, que pueden ser perjudiciales para el mortero. Por otro lado, el agua que es buena para el mortero no necesariamente es buena para beber.

#### 2.4.2. Agregado fino

Los agregados finos llamados arenas o áridos son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento; sin embargo hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero, tales como las escorias de alto horno, los materiales de origen volcánico que contienen sílice activo, y el ladrillo triturado, entre otros. Pero otros que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del mortero y su durabilidad, como por ejemplo los compuestos de azufre, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

##### 2.4.2.1. Tipos

De acuerdo con el origen de los agregados, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Agregados naturales: son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.
- Agregados artificiales: estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno,



clinker, limaduras de hierro y otros. Generalmente son más ligeros o pesados que los ordinarios.

### 2.4.3. Cemento

La palabra cemento indica un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las cales, los asfaltos y los alquitranes.

#### 2.4.3.1. Tipos

- Cemento Pórtland

Todo Cemento Pórtland que se utilice para la elaboración de morteros, debe cumplir con la norma ASTM C-150 "*Standard Specification for Portland Cement*" (Especificación estándar para Cemento Pórtland), que los clasifica de la siguiente manera:

- Tipo I: destinado a obras en general, que le exigen propiedades especiales.
- Tipo II: destinado a obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.
- Tipo III: desarrolla altas resistencias iniciales.
- Tipos IV: desarrolla bajo calor de hidratación.
- Tipo V: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos

- Cementos hidráulicos mezclados

Es frecuente el uso de cementos a base de clinker Pórtland y una proporción de otro material que aunque no tenga propiedades cementantes por sí mismo, las desarrolla cuando se mezcla con el Portland, como las escorias

de hornos, puzolanas, cenizas volcánicas, etc. Estos cementos, hasta ciertos límites en la proporción del material a adicionar, resultan en cuanto a calidades similares al cemento Pórtland (pero no iguales), tienen especificaciones similares a éste y se usan con o sin este. Se encuentran definidos en la norma ASTM C-595 “*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*” (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados), la cual reconoce cinco tipos:

- Cemento Pórtland con escoria de alto horno.
- Cemento Pórtland puzolánico.
- Cemento de escoria.
- Cemento Pórtland modificado con puzolana.
- Cemento Pórtland modificado con escoria.
- Cementos de mampostería

Al final de la década de los 20, los fabricantes de cemento Pórtland de Estados Unidos, empezaron a formular combinaciones especiales de cemento y plastificantes para la industria de la mampostería. Las especificaciones, dadas en la norma **ASTM C-91** “*Standard Specification for Masonry Cement*” (Especificación estándar para cemento de mampostería), pueden considerarse como medidas de control de calidad. Los cementos de mampostería generalmente se componen de alguno o varios de los siguientes compuestos:

- Cemento Pórtland., cemento hidráulico mezclado, cemento natural o cal hidráulica.
- Cal hidratada.
- Caliza, creta, conchas calcáreas, talco, escoria o arcilla

Estos materiales se seleccionan de acuerdo a su capacidad para impartir trabajabilidad, plasticidad y retención de agua a los morteros. Si un cemento de mampostería cumple con estos requisitos, el mortero que se prepare con el mismo cumplirá con las propiedades deseadas tanto en estado plástico como en estado endurecido, si se elabora de una forma adecuada.

#### 2.4.4. Cal

La cal se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio (CaO), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal hidratada.

#### 2.4.5. Aditivos

El cemento Portland fue el primer aditivo moderno que se agregó al mortero para mampostería. Actualmente, muchos aditivos son añadidos a los morteros de acuerdo al uso o costos. Según el Comité ACI-212 (*American Concrete Institute*), un aditivo se puede definir como *“un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado”*. La norma ASTM C-494 *“Standard Specification for Concrete Admixtures”* (Especificación estándar de aditivos para concreto) especifica los aditivos químicos.

**Tabla VII Tipos de aditivos químicos según la norma ASTM C-494**

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

Fuente: (3)

## 2.5. Aporte estructural

Las zonas de contacto entre las piezas o piedras individuales constituyen planos de debilidad para la transmisión de esfuerzos de tensión y de cortante. La unión entre las piedras individuales se realiza en general por medio de juntas de morteros de diferentes composiciones. La resistencia a la compresión del mortero incide en la capacidad del muro para transmitir cargas de compresión y es un indicativo de la resistencia a esfuerzos de corte y a esfuerzos de tracción. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. Se puede concluir, entonces, que esta propiedad es de importancia vital para el correcto funcionamiento de muros sometidos a flexión o a cargas horizontales. En general los morteros deberán de contar con:

- Buena plasticidad para permitir el manejo manual.
- Impermeabilidad, facilitada por adición de cal.
- Buena capacidad de retención del agua mientras se cumple el proceso de hidratación del cemento.
- Uniformidad en:
  - Contenido de arena y cemento.
  - Granulometría de la arena.

Debido a los costos que representan los morteros de mampostería dentro de cualquier proyecto se deberá tener un adecuado control de calidad en materiales y mano de obra.

### 2.5.1. Mortero de levantado

El caso de los morteros de levantado si tienen aporte estructural más significativo, teniendo requerimientos de cargas de compresión, corte, adherencia y tensión. Su trabajabilidad, tiempos de fraguado, retención de agua entre otras características son diferentes, además es importante conocer la unidad de mampostería donde se aplicarán para que exista un adecuado

comportamiento entre estos dos elementos. A continuación se presenta el aporte estructural del mortero de levantado:

- Unión de bloques.
- Resistencia a la compresión igual o mayor que la de los bloques.
- Otros aportes como impermeabilidad, estética.

#### 2.6. Normas aplicables

- ASTM C-207 "*Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes*"
- ASTM C-150 "*Standard Specification for Portland Cement*" (Especificación estándar para cemento Portland).
- ASTM C-595 "*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*" (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados).
- ASTM C-91 "*Standard Specification for Masonry Cement*" (Especificación estándar para cemento de mampostería).
- ASTM C-144 "*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*" (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería).
- ASTM C-494 "*Standard Specification for Concrete Addmixtures*" (Especificación estándar de aditivos para concreto).

### **3. MUROS DE MAMPOSTERÍA**

#### 3.1. Definición

Elemento estructural de longitud o altura considerable con relación a su espesor, elaborado únicamente con mampostería. (5)

Es un cerramiento vertical de mampostería tradicional, que sirve para soportar y trasladar el peso de la cubierta hacia los cimientos o simplemente de división, variando su función, según su necesidad, en conjunto crea ambientes, para satisfacer necesidades humanas, de protección a factores atmosféricos o acústicos. (2)

#### 3.2. Tipos

##### 3.2.1. Según su aspecto físico

- Con aberturas
- Sin aberturas

##### 3.2.2. Según su función

###### 3.2.2.1. Muro estructural de mampostería

Muro que soporta, en su plano, carga adicional a la de su propio peso, elaborado únicamente con mampostería.

###### 3.2.2.2. Muro no estructural de mampostería

Muro que no tiene que soportar, en su plano, carga diferente a la de su propio peso, que por lo general está dispuesto sólo para separar espacios, elaborado únicamente con mampostería.

### 3.2.3. Según su ubicación

#### 3.2.3.1. Muros exteriores

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde puede haber presencia de agua al menos por un lado del muro, sea este portante o no, conlleva la necesidad de unidades de baja permeabilidad y absorción con el fin de impedir la entrada de agua a través del muro. Desde el punto de vista de la resistencia, no se presenta como factor crítico, siempre y cuando soporte la intemperie y sea estable con el tiempo.

#### 3.2.3.2. Muros interiores

En muros interiores o particiones, las condiciones son las mínimas, pues se entiende que ni desde el punto de vista de cargas ni desde el hidráulico o térmico se van a presentar sollicitaciones importantes. En estas condiciones merece un cuidado especial la uniformidad y estabilidad dimensional de las unidades, con el fin de reducir la cantidad de materiales de acabado y evitar la fisuración de los muros por separación de las unidades y el mortero

### 3.2.4. Según su material

- De piedra.
- De adobe.
- De caña o bambú.
- De ladrillo.
- De block.

### 3.3. Características

Para comprender el comportamiento de cualquier sistema estructural se requiere como punto de partida poseer conocimiento de los materiales componentes, así como por ejemplo para el caso de la mampostería reforzada es necesario conocer las características de los diferentes morteros que suelen

utilizarse del concreto fluido, de las unidades de mampostería y de la relación de unos con otros. Algunos de los detalles constructivos de los muros a considerar son los siguientes:

- Estructuras
- Modulación
- Instalaciones

#### 3.4. Juntas de construcción

Deberán de ser diseñadas de manera conjunta con el muro, tienen la función de dividir e independizar las diferentes hiladas o secciones, de forma tal que si estas sufren movimientos longitudinales debido a efectos de contracción lo hagan en forma independiente, evitando la aparición de fisuras ocasionadas por este efecto. Su diseño deberá de considerar lo siguiente:

- Contracción lineal por secado del tipo de bloques utilizados.
- Contenido de humedad del bloque utilizado al momento de su colocación.
- Variables climáticas locales (humedad relativa y temperatura ambiental).
- La forma del muro y su vinculación con otros elementos constructivos.

#### 3.5. Componentes

##### 3.5.1. Cemento

El cemento se puede definir como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos, para formar un material resistente y durable.



**Tabla VIII Características compuestos químicos cemento**

Características de los compuestos químicos del cemento				
Propiedad	Silicato tricalcio C <sub>3</sub> S	Silicato dicalcio C <sub>2</sub> S	Aluminato tricalcio C <sub>3</sub> A	Alúminoferrito tetra Calcio C <sub>4</sub> AF
Resistencia	Buena	Buena	Pobre	Pobre
Intensidad de reacción	Media	Lenta	Rápida	Rápida
Calor desarrollado	Medio	Pequeño	Grande	Pequeño
Resistencia a los sulfatos	Buena	Buena	Pobre	Media

Fuente: (5)

### 3.5.2. Mortero

La función principal del mortero de levantado es actuar como agente de vinculación o adherencia que integre las unidades de mampostería, permitiendo que trabajen en forma monolítica ayudando a que el muro tenga un desempeño adecuado, además debe acomodar variaciones dimensionales y características físicas de las unidades, lograr un efecto sellante entre ellas impidiendo el paso del agua y del aire.

La resistencia a la compresión del mortero incide en la capacidad del muro para transmitir cargas de compresión y es un indicativo de la resistencia a esfuerzos de corte y a esfuerzos de tracción. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción, sus propiedades más importantes son:

- Moldeabilidad: facilidad con que el mortero se mueve en la espátula.
- Retención del agua: habilidad que tiene el mortero de resistir la rápida pérdida de agua al contacto con el aire y los bloques secos de mampostería y ladrillos.

- Unión: es una propiedad importante del mortero endurecido, los dos aspectos de la unión que son críticos para un buen ensamblaje de la mampostería son la extensión y la fuerza.
- Fuerza compresiva: no es tan importante en la ejecución del ensamblaje de la mampostería como la moldeabilidad y la unión.

**Figura 6 Ensayo resistencia a compresión de mortero**



### 3.5.3. Unidad de mampostería

#### 3.5.3.1. Definición

Elemento que en conjunto, se utiliza para elaborar una mampostería. Puede ser de diversos materiales piedra, barro, arcilla cocida, concreto, vidrio, etc. Por lo general tiene forma de prisma rectangular. (5)

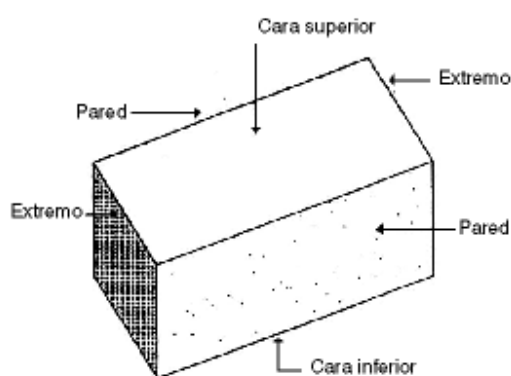
Es el elemento individual prefabricado utilizado para construir componentes y edificaciones de mampostería. Puede ser un bloque de concreto, un ladrillo de arcilla, un bloque de vidrio o un bloque de roca. (2)

### 3.5.3.2. Generalidades

Su principal aporte estructural es la capacidad de soportar cargas verticales (resistencia a compresión), otros son cerramientos, divisiones. Para un buen desempeño del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, a las unidades de mampostería se les deben de evaluar las siguientes propiedades:

- Resistencia a la compresión
- Absorción.
- Densidad.
- Succión inicial.
- Encogimiento (contracción)
- Morfología.
- Saturación

**Figura 7 Unidad de mampostería**



Las dimensiones de una unidad de mampostería están definidas como su espesor, altura, ancho y longitud. Para cada una de ellas existen tres tipos de interpretación, según el propósito:

- Dimensiones reales son las medidas directamente sobre la unidad en el momento de evaluar su calidad.
- Dimensiones estándar son las designadas por el fabricante en su catálogo o pliego (dimensiones de producción).
- Dimensiones nominales son iguales a las dimensiones estándar más el espesor de una junta de pega ( $\pm 1.0$  cm).

#### 3.5.4. Acero de refuerzo

El acero se puede incorporar de dos formas en la mampostería ya sea embebido en mortero en juntas longitudinales o colocando varillas en unidades perforadas (ofrece resistencia a las fuerzas horizontales). La selección de la armadura de refuerzo para un elemento de mampostería se basa en diferentes consideraciones, siendo dos de ellas los tamaños disponibles y sus resistencias.

#### 3.6. Conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería

Los materiales colocados del muro integran el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería y su desempeño es determinado por el comportamiento de ellos, para evaluar los parámetros de diseño de la mampostería se utilizan prismas de mampostería y muros escala natural, que permiten conocer:

- Resistencia básica a la compresión.
- Resistencia básica al corte.
- Resistencia de la mampostería a la tracción en dirección perpendicular a las juntas de asiento, originada por la flexión contenida en el plano del muro, se considerará nula.
- Módulo de elasticidad longitudinal  $E_m$ .
- Módulo de corte  $G_m$ .

### 3.6.1. Patologías del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería

Una vivienda puede durar entre 50-80 años, no debería de tener problemas durante su vida útil, pero pueden presentar patologías derivadas de las acciones mecánicas, higrotérmicas, deficiencias en el proyecto y ejecución, también pueden presentarse debido a procesos químicos, bioquímicos y físicos.

**Tabla IX Tipos de movimientos en muros de mampostería, causas y efectos**

Efectos causados por movimientos en muros de mampostería		
Causa		Efecto
Cambios de temperatura	Calor	Expansión
	Frío	Contracción
Cambios en los porcentajes de humedad	Seco	Encogimiento
	Húmedo	Expansión
Sobrecargas en las estructuras	Cargas muertas	Deflexión, distorsión y asentamientos
	Cargas vivas	
	Impacto	
	Vibración	

Fuente (6)

#### 3.6.1.1. Fisuras o grietas

Los muros no tienen problemas cuando se trata de resistir esfuerzos de compresión, no ocurre lo mismo cuando son esfuerzos de tracción, siendo este el principal origen de grietas y fisuras, un trabajo mal ejecutado o deficiencias en sus materiales dará por resultado un muro de baja resistencia a la tracción que fácilmente se fisurará. A veces puede resultar difícil definir si las grietas se producen por un movimiento excesivo de la estructura o por falta de resistencia de la mampostería (conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería). Las

grietas en el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería pueden producirse por diferentes causas de las cuales se presentan algunas:

- Falta de adherencia conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.
- Morteros mal elaborados.
- Falta de amarre en las esquinas.
- Uniones a muros existentes.
- Contracción por fraguado del cemento.
- Acciones mecánicas externas.
- Asentamientos diferenciales.
- Cargas puntuales.
- Cargas uniformes sobre muros de sección variable.
- Estados de cargas muy diferentes.
- Flechas en vigas.
- Apoyos en los extremos.
- Aberturas.

#### 3.6.1.2. Acciones higrotérmicas

- Empuje entre muros adyacentes.
- Grietas por contracción térmica.
- Movimientos horizontales.

#### 3.6.1.3. Deficiencias del proyecto

- Uniones constructivas mal hechas.
- Falta de juntas de contracción.
- Falta de limitación en la flecha.
- Muros de cerramiento excesivamente débiles.

#### 3.6.1.4. Fisuras en acabados

- Espesor del acabado
- Fisuras de piel de cocodrilo.
- Fisuras ramificadas.
- Fisuras de formas regulares.

**Figura 8 Conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería**



#### 3.6.2. Prismas de mampostería

Son elementos compuestos por uno o más unidades de mampostería, unidos con algún tipo de mortero, uno encima del otro, que sometidos a cargas de compresión, corte y adherencia permiten obtener la resistencia característica de la mampostería evaluada, utilizando los materiales y mano de obra similares a los que se usarán en obra.

Cuando se utilicen bloques huecos de concreto o ladrillo, deberá de tenerse especial cuidado con la consistencia y tipo de mortero, contenido de humedad de las unidades, el espesor y tipo de junta así como el relleno de los huecos con grout si fuera el caso (2 días después de fundidos los prismas). Para el diseño de estructuras de mamposterías, sometidas a cargas laterales inducidas por vientos o movimientos sísmicos, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia al corte. El ensayo previo de prismas puede significar una reducción de los costos al reducir las cuantías de acero de refuerzo al optimizar el uso del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

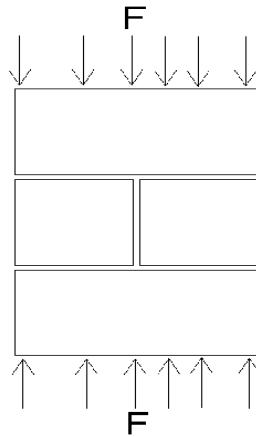
#### 3.6.2.1. Resistencia a compresión

Este ensayo consiste en aplicar carga axial al prisma de mampostería, con el fin de determinar su resistencia a compresión a la edad de interés, si se conoce la deformación unitaria se puede calcular el módulo de elasticidad de la mampostería, la falla típica son grietas verticales entre las unidades producidas por las deformaciones transversales, si se tienen unidades con resistencia baja se pueden producir fallas por aplastamiento. Entre los factores que la pueden afectar tenemos los siguientes:

- Tipo y geometría de las unidades.
- Características del mortero.
- Humedad y absorción de las unidades.



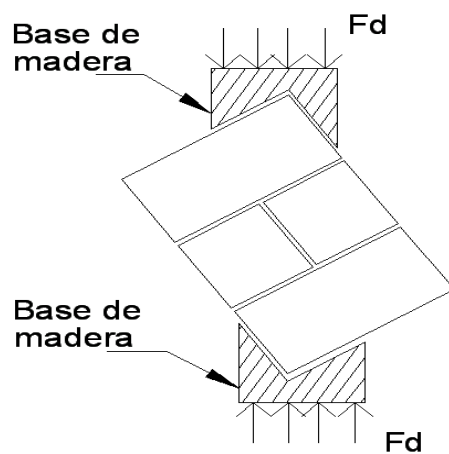
**Figura 9 Ensayo a compresión prisma**



#### 3.6.2.2. Corte

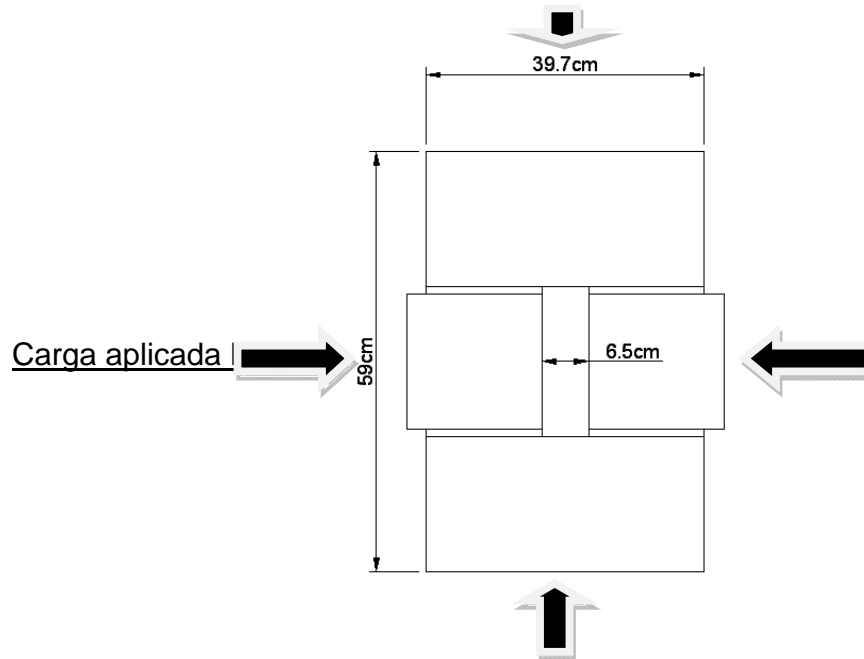
Este ensayo consiste en aplicar carga en la dirección diagonal del prisma de mampostería, con el fin de determinar su capacidad al corte diagonal y el módulo de rigidez por corte a la edad de interés. A medida que se incrementa la carga, se generan esfuerzos de tensión en dirección perpendicular a la aplicación de la carga, los cuales producen luego el agrietamiento vertical del prisma.

**Figura 10 Ensayo a corte prisma**



### 3.6.3. Adherencia

**Figura 11 Ensayo adherencia prisma**

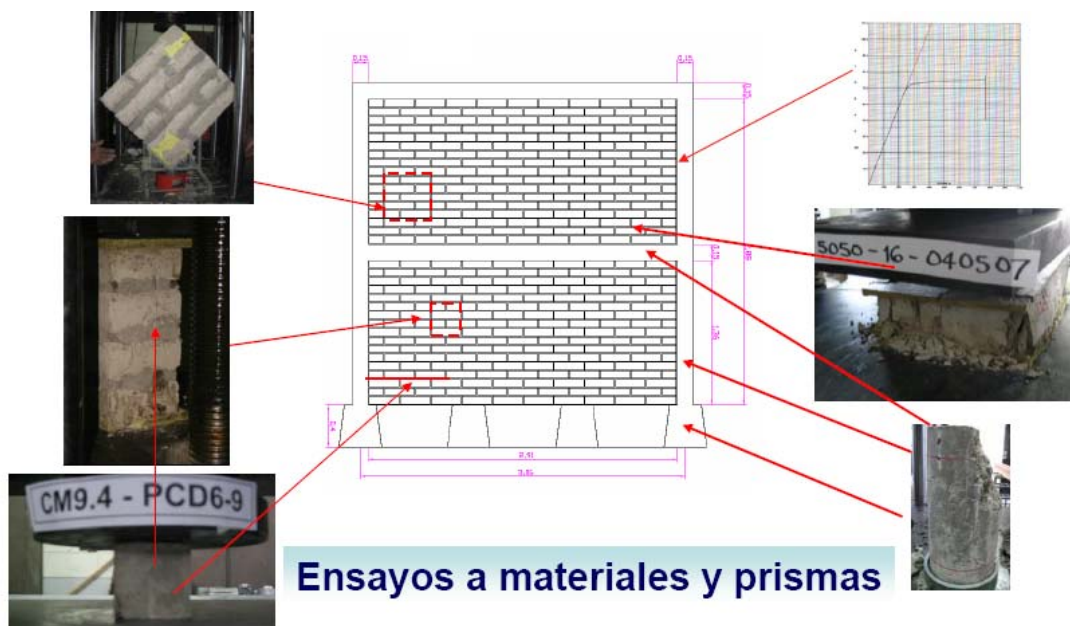


### 3.7. Normas aplicables

- Métodos de ensayo para la evaluación, en laboratorio y en obra, de morteros para unidades de mampostería simple y reforzada. (ASTM C-780).
- Método para determinar la resistencia a la tracción indirecta en unidades de mampostería. (ASTM C-1006).
- Método para la medición de la resistencia a la adherencia por flexión de la mampostería. (ASTM C-1072).
- Método estándar para la resistencia a compresión de prismas de mampostería (ASTM C-1314).

- Método de ensayo para determinar la penetración y la filtración de agua a través de mampostería. (ASTM E-514).
- Determinación de la adherencia en prismas de mampostería sometidos a flexión. (ASTM E-518).
- Método de ensayo estándar para la tensión diagonal (corte) en ensamblados de mampostería (ASTM E-519).
- Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería. (ASTM E-592).

**Figura 12 Control de calidad en conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería**



## 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

### 4.1. Caracterización de materiales

Se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería USAC, de acuerdo a las normas técnicas aplicables. (Ver apéndices 1, 2, 3 y 4)

#### 4.1.1. Cemento

Se utilizó cemento mezclado tipo UGC (Uso General en la Construcción) marca Cementos Progreso, de acuerdo con el fabricante cumple con las normas ASTM C-595, C-1157.

**Tabla X Resultados Cemento UGC**

<b>Parámetro</b>	<b>Resultados</b>	
<b>Fineza tamiz No. 325 (% pasa)</b>	<b>93.92</b>	
<b>Expansión en autoclave (%)</b>	<b>0.10</b>	
<b>Superficie Específica Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</b>	<b>3900.0</b>	
<b>Consistencia normal (%)</b>	<b>27.0</b>	
<b>Fraguado Vicat (min)</b>	<b>Inicial: 212</b>	
	<b>Final: 324</b>	
<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.86</b>	
<b>Contenido de aire en mortero (%)</b>	<b>--</b>	
<b>Resistencia a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>3 días</b>	<b>192.0</b>
	<b>7 días</b>	<b>326.6</b>
	<b>28 días</b>	<b>326.6</b>

#### 4.1.2. Agregado fino

Se utilizó arena de río de uso regular en Guatemala, de acuerdo a los resultados obtenidos se considera adecuada para elaborar mezclas de morteros.

**Tabla XI Resultados caracterización agregado fino**

<b>Caracterización agregado fino</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Retenido tamiz 6.35 (%)</b>	<b>0.00</b>
<b>Peso específico</b>	<b>2.40</b>
<b>Peso unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1363.58</b>
<b>Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1250.44</b>
<b>% de vacíos</b>	<b>43.28</b>
<b>% de absorción</b>	<b>4.06</b>
<b>Contenido de materia orgánica</b>	<b>2</b>
<b>% de material que pasa el tamiz No. 200</b>	<b>3.70</b>
<b>Módulo de finura</b>	<b>2.17</b>
<b>Granulometría</b>	<b>Adecuada</b>

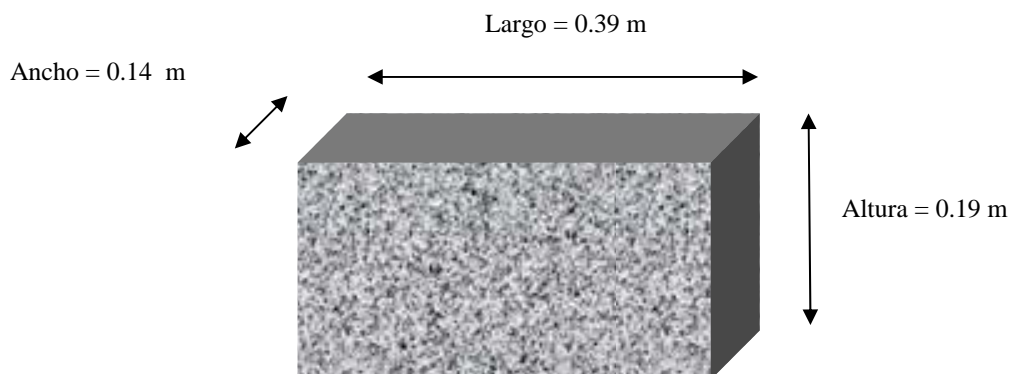
**Figura 13 Equipo ensayos blocks y agregado fino**



#### 4.1.3. Blocks

Según lo indicado por el proveedor tienen una resistencia de  $50.0 \text{ kg/cm}^2$ , se evaluaron dimensiones, resistencia a compresión, densidad y absorción a blocks enteros y mitades, de acuerdo a las especificaciones y procedimientos indicados en las normas COGUANOR NGO 41056 h1 y 41054.

**Figura 14 Medidas block**



**Figura 15 Ensayo a compresión blocks**



**Tabla XII Resultados blocks norma COGUANOR NGO 14056**

<b>Blocks enteros</b>				
<b>No.</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Resistencia a compresión MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Absorción (%)</b>
1	12.786	8.3 (84.7)	2124.0	7.41
2	12.694	8.1 (86.0)	2140.0	7.06
<b>½ Blocks</b>				
I	6.500	9.3 (94.6)	2162.0	7.26
II	6.428	8.6 (89.3)	2140.0	7.52

#### 4.2. Elaboración y evaluación de morteros

Se trabajó de acuerdo a los procedimientos y especificaciones de las normas ASTM aplicables, los ensayos fueron realizados en el centro de Investigaciones de Ingeniería. Se dejó al criterio del albañil la cantidad de agua necesaria para su consistencia y trabajabilidad, la que fue verificada en el laboratorio utilizando la mesa de flow (110 ± 5 %) con el propósito de ver la

diferencia entre los dos valores, evaluándoles la trabajabilidad, retención de agua, contenido de aire, resistencias a compresión y tensión. Los morteros fueron identificados de la siguiente manera:

- **M13** (proporción en volumen 1:3)
- **M145** (proporción en volumen 1:4.5)
- **M16** (proporción en volumen 1:6)

**Figura 16 Molde probetas resistencia a tensión morteros**





**Figura 17 Curado probetas de morteros**



**Tabla XIII Condiciones morteros evaluados**

Características morteros							
Tipo de mortero	Proporciones		Trabajabilidad mesa de flujo (%)		Relación a/c (%)		
	Volumen	Peso (kg)	Campo	Laboratorio	Campo	Laboratorio	
M13	1:3	Cemento 3.7	Total 18.3	76.5	110 ± 5 %	72.0	83.0
		Arena 11.9					
		Agua 2.7					
M145	1:4.5	Cemento 3.7	Total 25.6	81.3	110 ± 5 %	77.0	108.0
		Arena 17.9					
		Agua 4.0					
M16	1:6	Cemento 3.7	Total 65.1	67.0	110 ± 5 %	143.0	161.0
		Arena 23.8					
		Agua 5.3					

Figura 18 Resultados relación a/c morteros

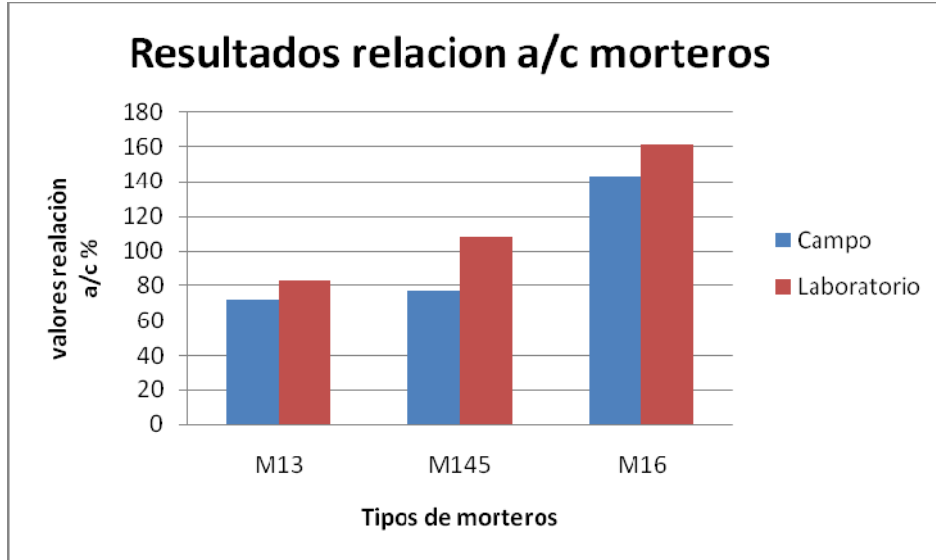
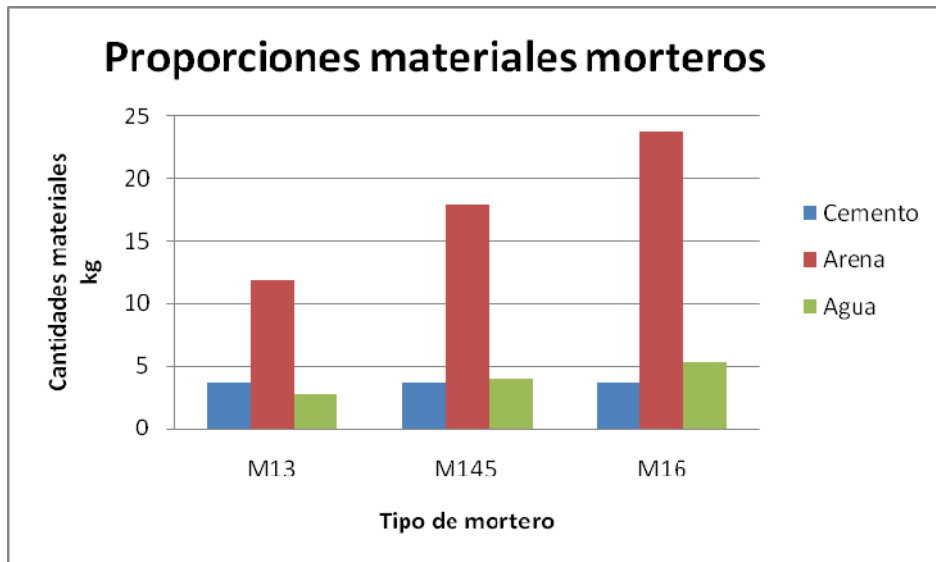


Figura 19 Dosificación morteros



**Tabla XIV Resultados morteros estado fresco**

Resultados morteros estado fresco					
Tipo de mortero	Masa unitaria (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de aire (%)	Retención de agua (%)	Velocidad de endurecimiento (tiempo minutos)	
				Inicial (35.0 kgcm <sup>2</sup> )	Final (280.0 kgcm <sup>2</sup> )
M13	1.57	24.8	35.3	245	420
M145	1.56	23.5	30.8	185	420
M16	1.54	22.8	32.9	182	360

**Figura 20 Masa unitaria morteros**

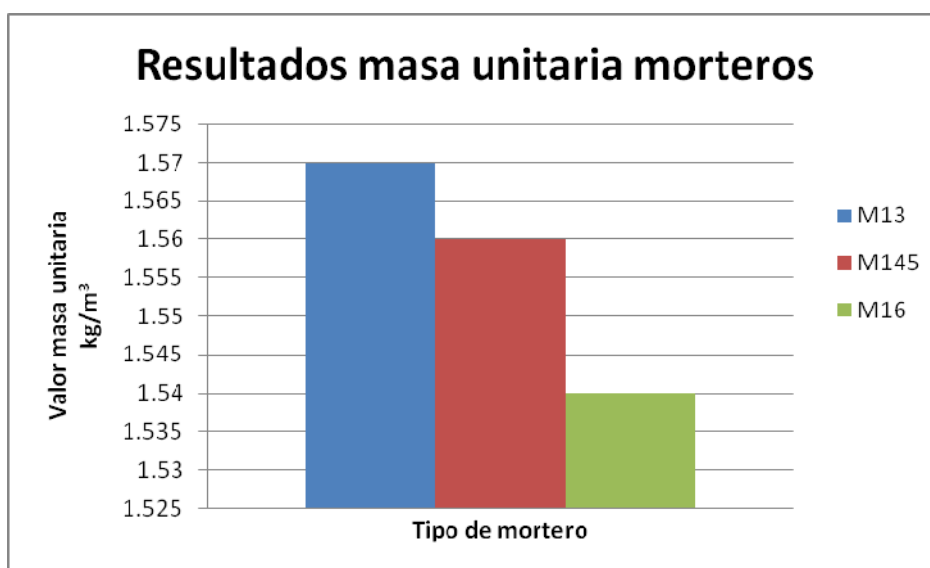


Figura 21 Contenido de aire morteros

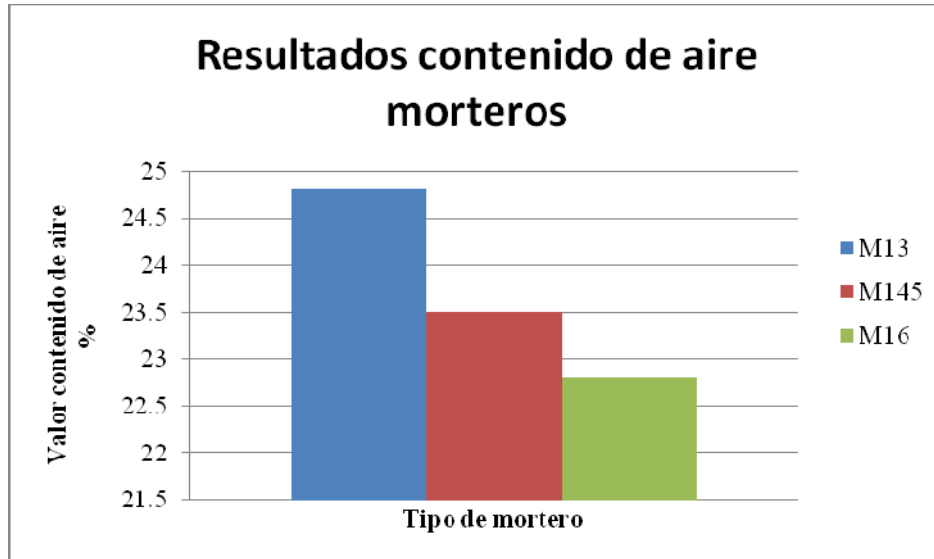


Figura 22 Retención de agua morteros

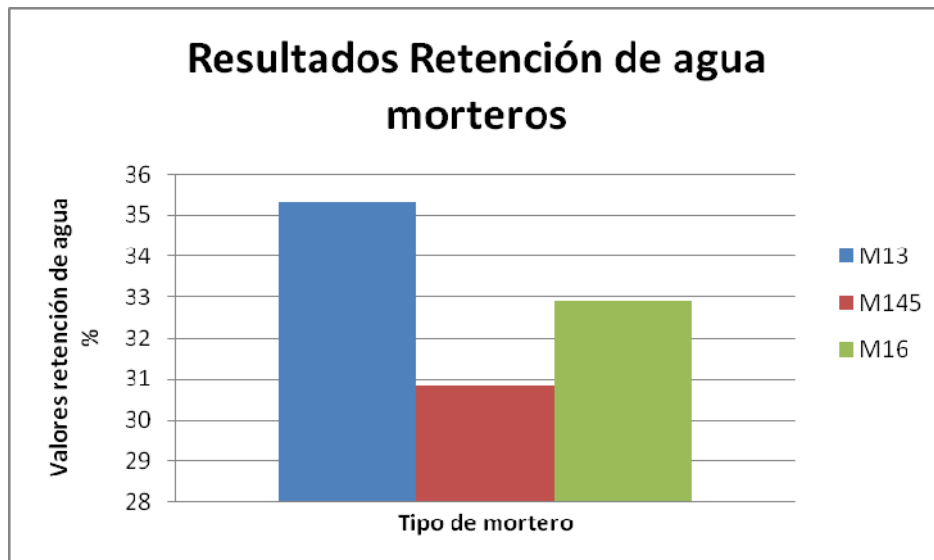


Figura 23 Velocidad de Endurecimiento

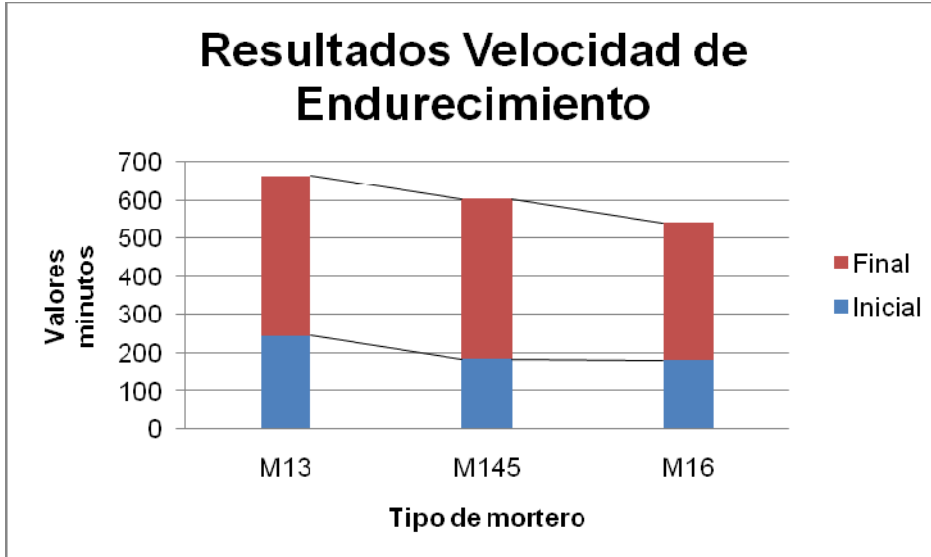


Tabla XV Resultados morteros estado endurecido

Resultados morteros estado endurecido				
Tipo de mortero	Resistencia a compresión $f'm$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )		Resistencia a tensión $f'tm$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	
	Edad (días)		Edad (días)	
	7	28	7	28
M13	7.4 (75.6)	10.0 (105.4)	1.4 (14.1)	1.7 (17.2)
M145	5.9 (60.1)	9.1 (93.2)	1.1 (11.4)	2.0 (20.4)
M16	5.1 (51.8)	7.5 (76.2)	1.1 (11.1)	1.4 (14.1)

Figura 24 Resultados resistencia a compresión morteros

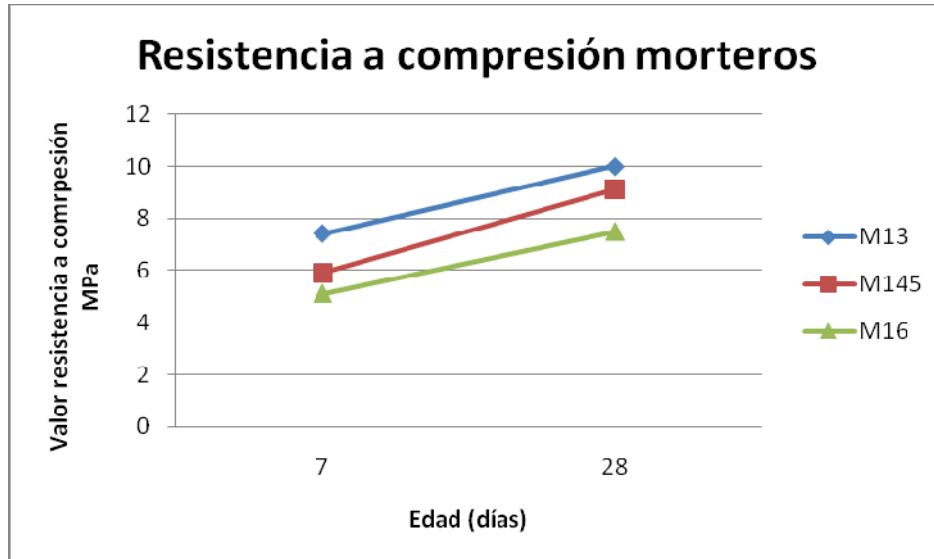
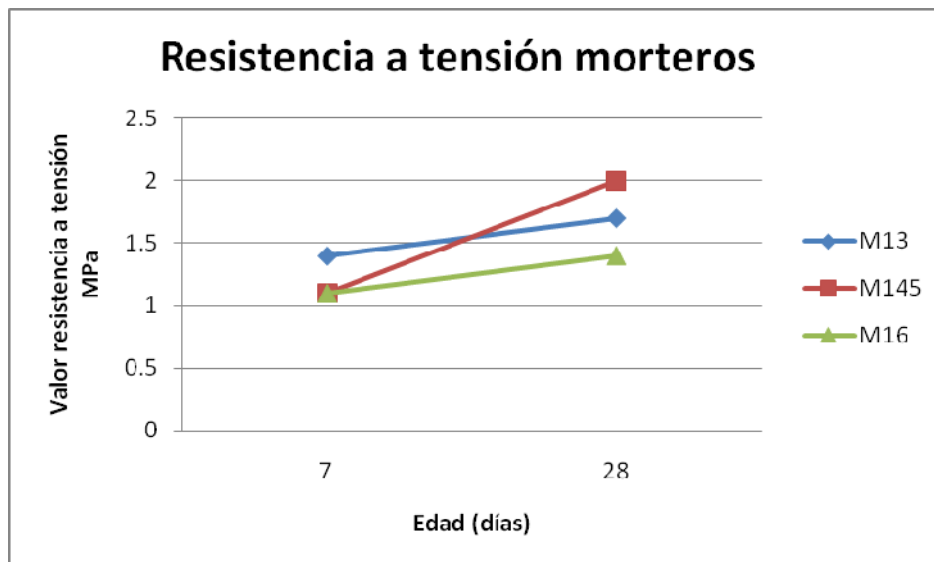


Figura 25 Resultados resistencia a tensión morteros



#### 4.3. Ensayo de prismas

Para los ensayos de resistencia a compresión y corte, los prismas tuvieron una configuración de tres bloques de alto por un bloque de ancho, utilizándose mitades en la hilera intermedia (traslapados), el equipo hidráulico utilizado fue el siguiente:

- 1 gato Enerpack de 10 t con un área de contacto de  $14.5 \text{ cm}^2$  vertical.
- 2 gatos OWT de 10 t con un área de contacto de  $13.4 \text{ cm}^2$  horizontal.

**Figura 26 Elaboración de prismas**



#### 4.3.1. Compresión ( $F'_M$ )

La norma ASTM E-447-92b “*Standard Test Method for Compressive Strength of Laboratory Constructed Masonry*” (Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de mampostería construida en laboratorio), cubre dos pruebas de compresión de prismas de mampostería.

**Tabla XVI Resultados ensayo a compresión prismas**

Resistencia a compresión prismas						
Tipo de prisma/mortero	Edad (días)	Carga última (kgf)	Promedio carga última (kgf)	Valor $F'_M$ área neta MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Valor $F'_M$ área bruta MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
M13	7	10682.0	11022.0	2.0 (20.2)	3.2 (32.6)	Grietas verticales caras laterales, colapso prisma
		11364.0				
	14	12955.0	13636.0	2.5 (25.0)	4.0 (40.4)	
		14318.0				
	28	12045.0	15000.0	2.7 (27.5)	4.3 (44.4)	
		17955.0				
M145	7	11136.0	11250.0	2.0 (20.6)	3.2 (32.3)	Grietas verticales caras laterales, colapso prisma
		11364.0				
	14	13049.0	13049.0	2.7 (27.5)	4.3 (44.4)	
		16591.0*				
	28	11591.0	11705.0	2.7 (27.5)	3.4 (34.7)	
		11818.0				
M16	7	10000.0	10340.0	1.7 (17.0)	3.0 (30.6)	Grietas verticales caras laterales, colapso prisma
		10682.0				
	14	8409.0*	10455.0	1.9 (19.2)	3.0 (31.0)	
		10455.0				
	28	9318.0	10455.0	1.9 (19.2)	3.0 (31.0)	
		11591.0				

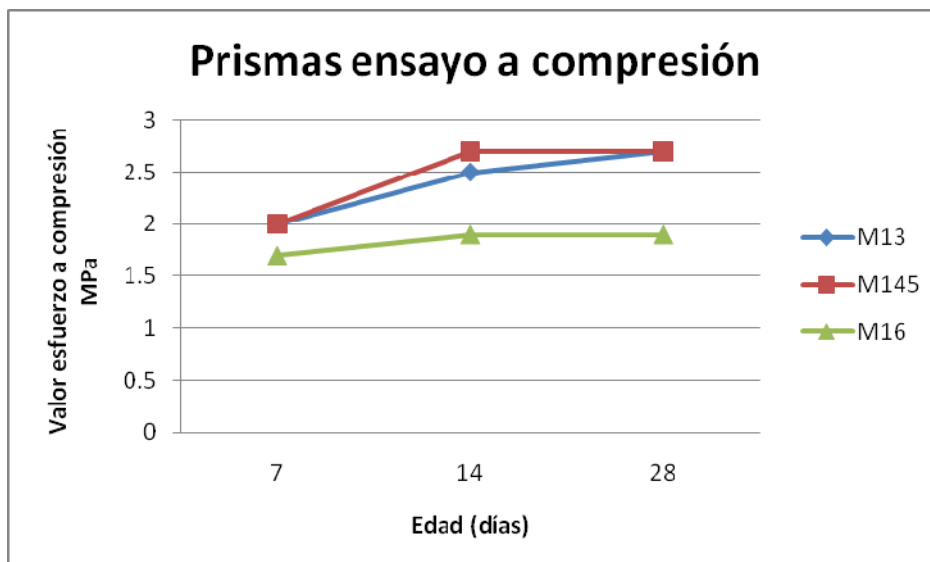
Nota: \* valores fuera del promedio.



**Figura 27** Falla típica ensayo a compresión prisma



**Figura 28** Resultados resistencia a compresión prismas



#### 4.3.2. Corte ( $V'_M$ )

Este método de ensayo está referido en la norma ASTM E-519 “*Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblies*” (Método de ensayo estándar para la tensión diagonal (corte) en ensamblados de mampostería).

**Figura 29** Ensayo a corte prismas

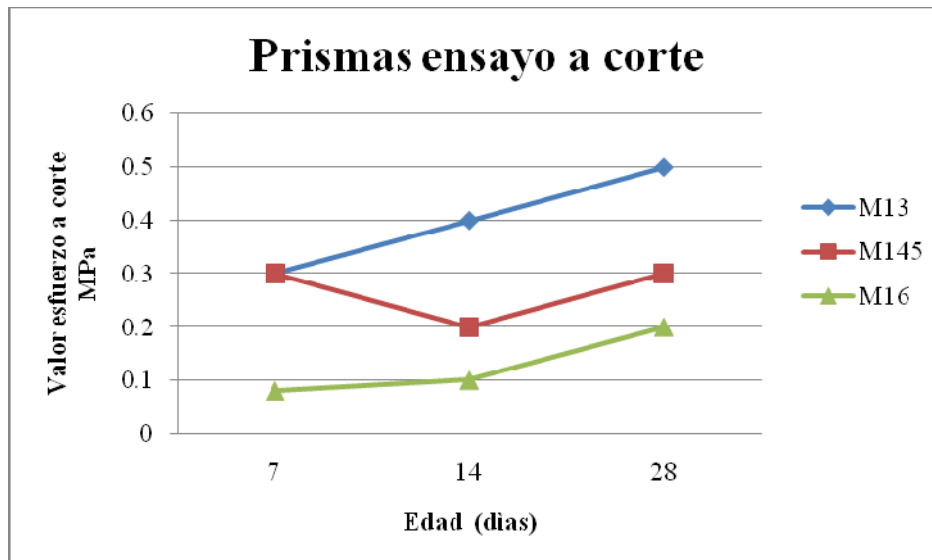


**Tabla XVII Resultados ensayo a corte prismas**

Resistencia a corte prismas					
Tipo de prisma/mortero	Edad (días)	Carga última (kgf)	Promedio carga última (kgf)	Valor $V'_M$ MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
M13	7	3182.0	3409.0	0.3 (3.5)	Falla mortero, colapso prisma
		3636.0			
	14	3864.0	3977.0	0.4 (4.0)	Falla mortero, colapso prisma
		4091.0			
	28	3400.0*	4600.0	0.5 (4.5)	Colapso prisma
		4600.0			
M145	7	3182.0	3295.0	0.3 (3.3)	Colapso prisma
		3409.0			
	14	2500.0	2500.0	0.2 (2.5)	Falla mortero, colapso prisma
		2500.0			
	28	2200.0*	3200.0	0.3 (3.3)	Colapso prisma
		3200.0			
M16	7	682.0	682.0	0.01 (0.7)	Falla no por corte, colapso prisma
		682.0			
	14	1441.0	1441.0	0.1 (1.5)	Falla mortero, colapso prisma
		1441.0			
	28	2200.0	2450.0	0.2 (2.5)	Colapso prisma
		2700.0			

**Nota: \* valores fuera del promedio.**

Figura 30 Resultados resistencia a corte prismas



#### 4.3.3. Adherencia ( $Ahd_M$ )

No se tiene una referencia de norma, se aplicó una carga de confinamiento mínima. Los prismas de adherencia tuvieron las mismas dimensiones que los de corte y compresión, dejándose una separación de 6.5 cm entre las mitades colocadas en medio. La adherencia tiene dos aspectos:

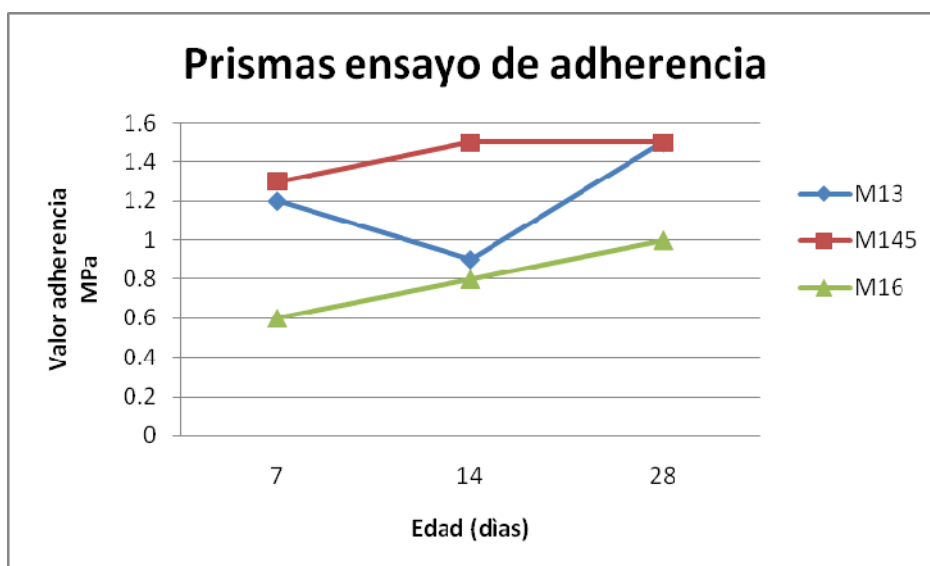
- Tensión de adherencia: cuanta fuerza se requiere para separar las unidades.
- Extensión de la adherencia o punto de adherencia, la que se define como el área adherida (% de la unidad en que el mortero queda pegado) dividido por la sección de adherencia.

**Tabla XVIII Resultados ensayo de adherencia prismas**

Adherencia prismas					
Tipo de prisma/mortero	Edad (días)	Carga última (kgf)	Promedio carga última (kgf)	Valor adherencia MPa (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de falla
M13	7	600.0	675.0	1.2 (12.1)	Falla mortero
		750.0			
	14	500.0	550.0	0.9 (9.9)	Falla mortero
		600.0			
	28	800.0	850.0	1.5 (15.2)	Falla mortero
		900.0			
M145	7	650.0	750.0	1.3 (13.4)	Falla mortero
		850.0			
	14	350.0*	900.0	1.5 (15.4)	Falla mortero
		900.0			
	28	800.0	800.0	1.5 (15.1)	Falla mortero
		800.0			
M16	7	350.0	350.0	0.6 (6.3)	Falla mortero
		350.0			
	14	450.0	475.0	0.8 (8.5)	Falla mortero
		500.0			
	28	550.0	575.0	1.0 (10.3)	Falla mortero
		600.0			

Nota: \* valores fuera del promedio

**Figura 31 Resultados adherencia prismas**



**Figura 32 Ensayo adherencia prismas**



**Tabla XIX Resultados ensayos prismas**

<b>Resultados ensayos de prismas</b>						
<b>Tipo de mortero</b>	<b>F'<sub>M</sub></b> <b>MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>V'<sub>M</sub></b> <b>MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		<b>Adh<sub>M</sub></b> <b>MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
	<b>Edad (días)</b>					
	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>28</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<b>M13</b>	<b>2.0 (20.6)</b>	<b>2.7 (27.5)</b>	<b>0.3 (4.5)</b>	<b>0.5 (4.5)</b>	<b>1.2 (12.1)</b>	<b>1.5 (15.2)</b>
<b>M145</b>	<b>2.0 (20.5)</b>	<b>2.7 (27.5)</b>	<b>0.3 (3.3)</b>	<b>0.3 (3.3)</b>	<b>1.3 (13.1)</b>	<b>1.5 (15.1)</b>
<b>M16</b>	<b>1.7 (17.2)</b>	<b>1.9 (19.2)</b>	<b>0.01 (2.5)</b>	<b>0.2 (2.5)</b>	<b>0.6 (6.3)</b>	<b>1.0 (10.3)</b>

Figura 33 Resultados ensayos prismas (7 días)

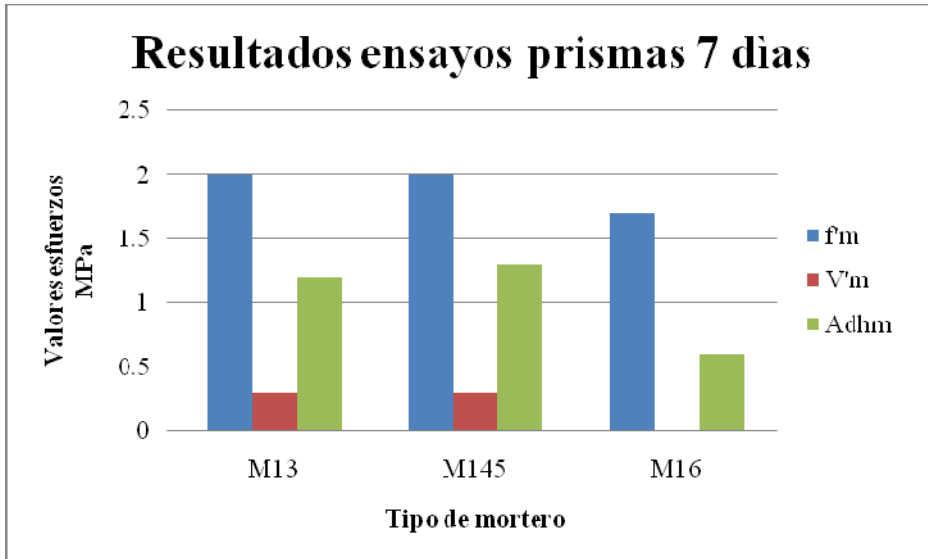
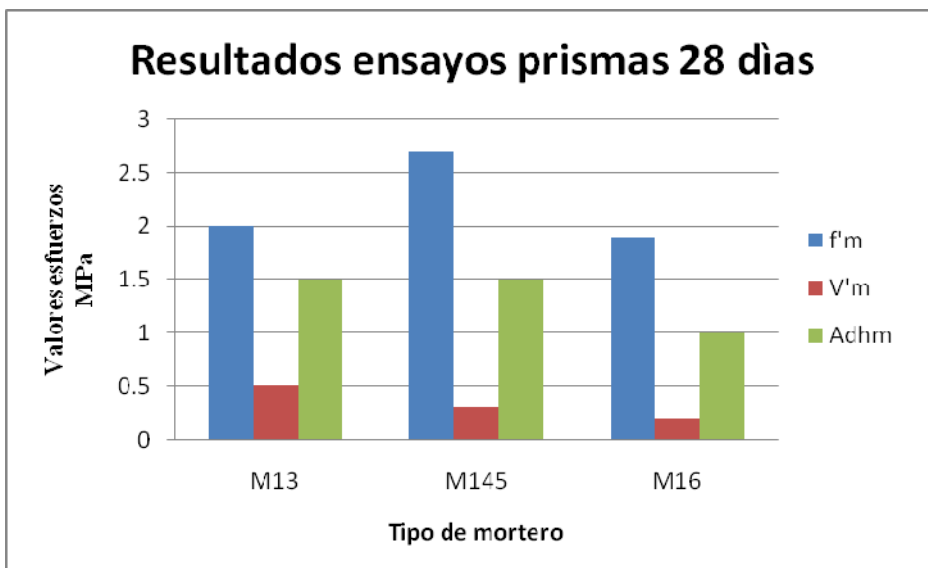


Figura 34 Resultados ensayos prismas (28 días)



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Materiales

#### 5.1.1. Cemento tipo UGC

Cumple con las especificaciones de las normas ASTM aplicables, el cemento mezclado de uso general en la construcción UGC es producido por la empresa Cementos Progreso (ASTM C-595), tiene adición de puzolanas que permiten usarlo en morteros de mampostería, su aplicación puede estar condicionada por el tipo de unidad de mampostería utilizada y las condiciones del proyecto. (Ver tabla X)

#### 5.1.2. Agregado fino

Fue el mismo para todos los morteros elaborados (arena de río), de acuerdo a los resultados obtenidos se considera adecuado para su uso en el presente estudio. (Ver tabla XI)

#### 5.1.3. Blocks de concreto

Los blocks utilizados cumplen con los requerimientos de la norma COGUANOR 41 054 así como con la resistencia ofrecida por el fabricante ( $50.0 \text{ kg/cm}^2$ ) con un valor promedio de  $85.4 \text{ kg/cm}^2$ , se clasifican **Tipo pesado, Clase 1, Grado A**. (Ver tabla XII)

### 5.2. Morteros

Sus características influyen en las propiedades de la mampostería de deformabilidad y adherencia. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. Los morteros evaluados fueron elaborados en las mismas condiciones de



materiales, trabajabilidad, mano de obra, almacenamiento y ensayo. (Ver tablas XIII, XIV y XV)

#### 5.2.1. Estado fresco

##### 5.2.1.1. Relación a/c y trabajabilidad

La trabajabilidad fue adecuada para morteros de levantado (mayor demanda de agua significa menor resistencia a compresión y mayores tiempos de fraguado), también permite que el mortero pueda ser manipulado durante más tiempo, condición necesaria en mampostería dados los procesos que involucra, se consideró el criterio del albañil para la trabajabilidad de campo, en laboratorio se tomó el criterio de la norma ASTM C-270 ( $110 \pm 5 \%$ ).

De acuerdo a los resultados obtenidos la relación a/c y la trabajabilidad, tuvieron un comportamiento directamente proporcional con la proporción del mortero (mayor cantidad de agregado, mayor relación a/c), con los siguientes valores (condiciones de campo y laboratorio) para la relación a/c de **M13 (72.0 y 83.0 %)**, **M145 (77.0 y 108.0 %)** y **M16 (143.0 y 161.0 %)** respectivamente y para la trabajabilidad de **M13 (76.5 y  $110 \pm 5 \%$ )**, **M145 (81.3 y  $110 \pm 5 \%$ )** y **M16 (67.0 y  $110 \pm 5 \%$ )** respectivamente.

##### 5.2.1.2. Contenido de aire

Es una propiedad de gran importancia en el mortero, permite explicar en mucho el comportamiento que este pueda tener en estado fresco y endurecido, puede producirse por efectos mecánicos o por medio de la aplicación de aditivo. A medida que aumenta su valor mejora la trabajabilidad y la resistencia a ciclos de hielo-deshielo, pero disminuye la resistencia mecánica, adherencia y impermeabilidad.

De acuerdo a los resultados el contenido de aire presenta un comportamiento inversamente proporcional (mayor cantidad de agregado

menor contenido de aire), con los siguientes valores **M13 (24.8 %)**, **M145 (23.5 %)** y **M16 (22.8 %)** respectivamente, los que no cumplen con la especificación de la norma ASTM C-270 (19-23 %).

#### 5.2.1.3. Retención de agua

Característica que permite que el mortero pueda retener el agua de mezcla ante sollicitaciones externas de absorción o succión por parte de las unidades de mampostería utilizadas, es uno de los factores que mas afectan la adherencia entre morteros y unidades.

De acuerdo a los resultados obtenidos la retención de agua tuvo los siguientes valores **M13 (35.3 %)**, **M145 (30.8 %)** y **M16 (32.9 %)** respectivamente, los que no cumplen con la especificación de la norma ASTM C-270 (75 %).

#### 5.2.2. Velocidad de endurecimiento

De acuerdo a los resultados obtenidos la velocidad de endurecimiento tuvo los siguientes valores **M13 (245, 420 minutos)**, **M145 (185, 420)** y **M16 (182, 360)** para los tiempos inicial y final respectivamente, se necesita tiempo mínimo para colocar la mezcla y acomodar las unidades.

#### 5.2.3. Estado endurecido

##### 5.2.3.1. Resistencia a compresión ( $f'_{c_m}$ )

La resistencia a compresión del mortero no evalúa su principal función, que es servir como unión entre las unidades, de ahí su desventaja de utilizarla como parámetro de referencia para su uso, una resistencia muy alta puede volver al conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería demasiado rígido y poco deformable, el tipo de cemento utilizado y el curado son los factores que más influyen en el desempeño del mortero.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el comportamiento es el esperado (mayor cantidad de cemento en el mortero, valor de  $f'_{c_m}$  más alto) así como el desarrollo de resistencia con respecto a la edad para todos los morteros ( $f'_{c_m}$  7 días  $<$   $f'_{c_m}$  28 días), con diferencias de  $f'_{c_m}$  entre 7 y 28 días para cada mortero de **M13** (2.6 MPa), **M145** (3.2) y **M16** (2.6) respectivamente, con diferencias de  $f'_{c_m}$  entre 7 y 28 días con respecto al **M13** para el **M145** de (2.5 y 1.9 MPa) y **M16** de (2.3 y 2.5) respectivamente.

#### 5.2.3.2. Resistencia a tensión ( $f'_{t_m}$ )

De acuerdo a los resultados obtenidos, el comportamiento es el esperado (mayor cantidad de cemento en el mortero, valor de  $f'_{t_m}$  más alto) a excepción de la edad de 28 días ( $f'_{t_{m28}}$  de **M145**  $>$  **M13**), el desarrollo de resistencia con respecto a la edad para todos los morteros es normal ( $f'_{t_m}$  7  $<$   $f'_{t_m}$  28 días), con diferencias de  $f'_{t_m}$  entre 7 y 28 días para cada mortero de **M13** (0.3 MPa), **M145** (0.9) y **M16** (0.3) respectivamente, con diferencias de  $f'_{t_m}$  entre 7 y 28 días con respecto al **M13** para el **M145** de (0.3 y  $-$  0.3 MPa) y **M16** de (0.3 y 0.3 ) respectivamente.

### 5.3. Prismas

Los prismas fueron elaborados bajo las mismas condiciones de materiales, mano de obra y ensayo. El comportamiento de la mampostería se caracteriza por dos efectos importantes:

- Respuesta frágil de las unidades de mampostería a tracción.
- Debilidad introducida por las juntas de morteros.

Si la mampostería presenta una pérdida de rigidez y resistencia rápida, la falla se presenta por cortante o por tensión diagonal; es una falla de tipo frágil, si la pérdida de rigidez y resistencia es gradual, la falla se presenta por flexión y es de tipo dúctil. (Ver tablas XVI, XVII, XVIII y XIX)

### 5.3.1. Compresión ( $F'_M$ )

Depende de la interacción de piezas y mortero: las piezas restringen las deformaciones transversales del mortero induciendo en éste esfuerzos de compresión en el plano transversal, en las piezas se introducen esfuerzos de tensión que disminuyen su resistencia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a compresión, el comportamiento es el esperado (mayor cantidad de cemento en el mortero, valor de  $F'_M$  más alto) así como el desarrollo de resistencia con respecto a la edad para todos los morteros, con diferencias de  $F'_M$  entre 7 y 28 días para **M13** de (1.1 MPa), **M145** (0.2) y **M16** (0.0) para el área neta, y **M13** (0.7 MPa), **M145** (0.7) y **M16** (0.2) para el área bruta respectivamente, lo que pone de manifiesto que para el valor de  $f'_m$  la dosificación de cemento es el mecanismo de control. El tipo de falla para todos los prismas fue la formación de grietas en el sentido vertical, producidas por deformaciones transversales (típicas del ensayo a compresión).

### 5.3.2. Corte ( $V'_M$ )

El valor del cortante depende de la resistencia a la adherencia y la resistencia a fricción entre las juntas de mortero y las unidades, el módulo a cortante de la mampostería depende principalmente de los siguientes factores: tipo de unidad, clase de mortero y contenido de humedad de las unidades cuando se colocan.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a corte el comportamiento es el esperado (mayor cantidad de cemento en el mortero, valor de  $V'_M$  más alto), con diferencias de  $V'_M$  entre 7 y 28 días para **M13** de (0.2 MPa), **M145** (0.0) y **M16** (0.12) respectivamente, en los prismas del **M145** fue donde se tuvieron las mayores diferencias y variabilidad en los resultados de los ensayos ( $V'_M$  a 7 > 14 y 28 días). El incremento en la dosificación de

cemento tiene incidencia directa con el valor del  $V'_M$  obtenido en los ensayos realizados. El tipo de falla fue variable, la mayoría en el mortero con grietas a  $45^\circ$  (típica del ensayo a corte).

### 5.3.3. Adherencia ( $Adh_M$ )

La adherencia tiene dos aspectos que hay que considerar dentro su evaluación, estos son: tensión y extensión de la adherencia (punto de adherencia).

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a adherencia, el comportamiento no es el esperado (mayor cantidad de cemento en el mortero, valores de  $Adh_M$  más altos), con diferencias de  $Adh_M$  entre 7 y 28 días para **M13** de (0.3 MPa), **M145** (0.2) y **M16** (0.4) respectivamente, en los prismas del **M13** fue donde se tuvieron las mayores diferencias y variabilidad en los resultados de los ensayos ( $Adh_M$  14 > 28 días y  $Adh_M$  **M145** > **M13**). No se puede asegurar que el incremento en la dosificación de cemento tiene incidencia directa con el valor del  $Adh_M$  obtenido en los ensayos realizados, lo que denota la dificultad para evaluar este parámetro en vista de la cantidad de variables que pueden afectarlo (textura de la unidad, relación a/c, curado entre otros), se plantea considerar alguna otra alternativa para conseguir valores más altos de  $Adh_M$  (uso de adhesivos, control de calidad riguroso, selección del tipo de unidad y mortero a utilizar). El tipo de falla en la mayoría de los ensayos fue desprendimiento del mortero.

### 5.3.4. Conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería

- El comportamiento de los prismas reflejan el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.
- La resistencia a compresión del cemento tipo UGC, es mayor que la de la unidad de mampostería y la de los morteros en todas las edades.

- La resistencia a compresión a 7 días de los morteros, es menor que la de la unidad de mampostería.
- La resistencia a compresión a 28 días de los morteros **M13** y **M145** es mayor que la de la unidad de mampostería, la de **M16** es menor que la de la unidad de mampostería.
- La resistencia a compresión de los prismas es menor que la de los morteros, unidades de mampostería y cemento en todas las edades.
- Los resultados de los ensayos de prismas respecto de la mezcla más pobre **M16** presentan un aumento en los valores de los esfuerzos calculados (28 días) para **M13** (5.0, 150.0 y 50.0 %) y **M145** (42.1, 50.0 y 50.0 %) para compresión, corte y adherencia respectivamente.



## CONCLUSIONES

1. Los materiales utilizados en el estudio son adecuados, ya que cumplen con las especificaciones de las normas aplicables.
2. La resistencia nominal de los blocks utilizados ( $50 \text{ kg/cm}^2$ ) es menor que el valor promedio obtenido en los ensayos ( $85.4 \text{ kg/cm}^2$ ).
3. Morteros con mayor contenido de cemento tienen mejor retención de agua, lo que ayuda al desarrollo de resistencia mecánica (compresión, corte y adherencia) del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería (muros).
4. Morteros con mayor contenido de cemento tienen valores de relación a/c menores, pero su contenido de aire es mayor, lo que puede afectar el desempeño de los muros.
5. Morteros con mayor contenido de cemento tienen valores de velocidad de endurecimiento (tiempos de fraguado) más altos, condición necesaria para la elaboración y desempeño de los muros.
6. Las fallas de los prismas de mampostería evaluados fueron típicas en la mayoría de los casos para cada ensayo.



7. Para obtener valores de esfuerzos necesarios, es importante el tipo y la cantidad de cemento, pero también las características del mortero (consistencia, retención de agua, resistencia) y de la unidad de mampostería (textura, % absorción, densidad, resistencia) utilizados, debido a que tienen diferentes características esfuerzo-deformación.
8. La proporción **M16** no es adecuada para utilizarla en muros de carga por su poca capacidad de compresión (puede utilizarse en muros perimetrales).
9. Las relaciones entre la resistencia a compresión de los morteros y la resistencia a compresión de la unidad de mampostería a la edad de 28 días son las siguientes: **M13** (1.2), **M145** (1.1) y **M16** (0.9) respectivamente.
10. Las relaciones entre la resistencia a compresión de los prismas y la resistencia a compresión de la unidad de mampostería a la edad de 28 días son las siguientes: **M13** (0.3), **M145** (0.3) y **M16** (0.2) respectivamente.
11. Las relaciones entre la resistencia a corte de los prismas y la resistencia a compresión de la unidad de mampostería a la edad de 28 días son las siguientes: **M13** (0.05), **M145** (0.04) y **M16** (0.03) respectivamente.

12. Las relaciones entre la resistencia a adherencia de los prismas y la resistencia a compresión de la unidad de mampostería a la edad de 28 días son las siguientes: **M13** (0.2), **M145** (0.2) y **M16** (0.1) respectivamente.

13. En el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, morteros sobre dosificados puede causar inconvenientes de servicio y aumentar los costos del proyecto.



## RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos a los materiales y elementos utilizados en mampostería a efecto de conocer sus características físicas y mecánicas, debido a que tienen diferentes condiciones de esfuerzo-deformación.
2. Cuando se tienen morteros con valores de retención de agua bajos o unidades de mampostería con alta absorción, estas se deben humedecer antes de su colocación, para que estas características no afecten al conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.
3. Utilizar morteros dosificados de acuerdo a los requerimientos particulares de cada proyecto (tipo de unidad, cargas consideradas en el diseño), evaluar el uso de cal en los morteros de levantado a efecto de mejorar el comportamiento de estos.
4. Si se requiere mejorar las características de los morteros (retención de agua, adherencia), considerar que la dosificación de cemento no es la única solución, evaluar el uso de adhesivos para mejorar la resistencia a corte y adherencia del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

5. Un curado adecuado de los muros durante el levantado, permite que el conjunto cemento-mortero-unidades de mampostería alcance valores de resistencia mecánica mayores.
6. Tener control sobre la relación a/c utilizada en los morteros, dado que es básico para tener un comportamiento mecánico adecuado.
7. Se recomienda usar morteros que tengan una resistencia a compresión mayor que la de la unidad de mampostería.
8. Las condiciones ambientales al momento de la elaboración de los muros deben de considerarse en vista de que pueden afectar su comportamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. <http://www.emagister.com/frame.cfm>. (marzo 2005).
2. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero**. Colombia Bhandar editores 2001. Pág. 35, 115 y 201.
3. Molina Escobar, Kenneth Alejandro. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno. Trabajo de Graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. Pág. 47.
4. Asociación Guatemalteca de Ingenieros Sísmicos y Estructurales AGIES. **Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores NR 4. Guatemala 2000**. Pág. 14.
5. **Diseño de mampostería de bloques de hormigón para el control de las fisuración**. Asociación Argentina del bloque de hormigón. 2006. Pág. 22.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingenieros Sísmicos y Estructurales AGIES. **Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores NR 4.** Guatemala 2000. Pág. 14.
2. ASTM *Book of Standards*. **Standard Specification for Concrete Aggregates.** USA: ASTM Vol. 04.02 2002. Pág. 226.
3. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001. Pág. 35, 115 y 201.
4. Molina Escobar, Kenneth Alejandro. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno. Trabajo de Graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006. Pág. 47.
5. Álvarez Walter. Evaluación del uso de morteros de mampostería en obra y laboratorio, de acuerdo a la norma ASTM C-270. Trabajo de Graduación Ing. Civil, Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. Pág. 51.





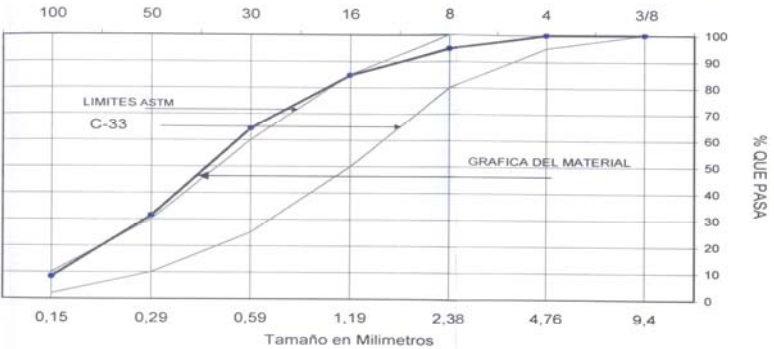



6. **Diseño de mampostería de bloques de hormigón para el control de las fisuraciòn.** Asociación Argentina del bloque de hormigón. 2006.

Pág. 22

7. <http://www.emagister.com/frame.cfm>. (marzo 2005).

# APÉNDICES

## 1. Informe de laboratorio S.C. 809 Sección de Concretos CII, USAC

AGREGADO FINO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																									
INTERESADO: Freddy Estuardo Gudiel González Carné No. 89-12649		INFORME No. S.C. 908		PROYECTO: Trabajo de Graduación "Evaluación de la Incidencia del Contenido de cemento del mortero en el comportamiento del conjunto Cemento-mortero"																							
		Muestra: Agregado Fino	Fecha: 06/11/2008	O.T. No. 24042	Lab. Concretos																						
<b>CARACTERISTICAS FISICAS:</b> <table border="1"> <tr><td>Peso Especifico</td><td>2,40</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>1363,58</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m<sup>3</sup>)</td><td>1250,44</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td>43,28</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorcion</td><td>4,06</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Organica</td><td>2</td></tr> <tr><td>% Retenido en Tamiz 6.35</td><td>0,00</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td>3,70</td></tr> <tr><td>% de Material Liviano</td><td>----</td></tr> <tr><td>% Desgaste por Sulfato de Sodio</td><td>----</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td>2,17</td></tr> </table>		Peso Especifico	2,40	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1363,58	Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1250,44	Porcentaje de Vacios	43,28	Porcentaje de Absorcion	4,06	Contenido de Materia Organica	2	% Retenido en Tamiz 6.35	0,00	% que pasa Tamiz 200	3,70	% de Material Liviano	----	% Desgaste por Sulfato de Sodio	----	Modulo de Finura	2,17				
Peso Especifico	2,40																										
Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	1363,58																										
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1250,44																										
Porcentaje de Vacios	43,28																										
Porcentaje de Absorcion	4,06																										
Contenido de Materia Organica	2																										
% Retenido en Tamiz 6.35	0,00																										
% que pasa Tamiz 200	3,70																										
% de Material Liviano	----																										
% Desgaste por Sulfato de Sodio	----																										
Modulo de Finura	2,17																										
<b>OBSERVACIONES:</b> a) Muestra proporcionada por el interesado. b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz No.</th> <th>9,40</th> <th>4,76</th> <th>2,38</th> <th>1,19</th> <th>0,59</th> <th>0,29</th> <th>0,15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>% Que pasa</td> <td>100,00</td> <td>99,92</td> <td>94,80</td> <td>84,64</td> <td>64,28</td> <td>31,34</td> <td>8,24</td> </tr> </tbody> </table>				Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15	% Que pasa	100,00	99,92	94,80	84,64	64,28	31,34	8,24						
Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15																				
% Que pasa	100,00	99,92	94,80	84,64	64,28	31,34	8,24																				
Vo.Bo. Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez DIRECTOR CIIUSAC		 Inga Dilría Yanet Mejicanos Jol Jefa Sección de Concretos																									
																											

2. Informe de laboratorio No. 1113-M Sección de Metales CII, USAC



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



Nº 000260

**1. DATOS GENERALES**

O.T. No. 24044

INFORME No1113-M

INTERESADO: FREDDY ESTUARDO GUDIEL GONZALEZ  
 PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION "EVALUACION DE LA INCIDENCIA DEL CONTENIDO DE CEMENTO DEL MORTERO EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONJUNTO CEMENTO-MORTERO UNIDAD DE MAMPOSTERIA, POR MEDIO DEL ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESION CORTE Y ADHERENCIA.  
 ASUNTO: ENSAYO DE BLOCK S  
 PROVEEDOR: \*\*\*\*\*  
 FECHA: GUATEMALA, 30 DE OCTUBRE DE 2008.

**2. RESULTADO ENSAYO**

#	Identificación	Medidas en cms			Peso Kg.	Abs. %	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>	Densidad Kg/m <sup>3</sup>
		Largo	Ancho	Altura				
1	*****	39.23	14.13	19.20	12.786	7.41	84.73	2124
		BLOQUE HUECO DE HORMIGON TIPO PEDASO CLASE A, GRADO 1						
2	*****	39.1	14.1	19.13	12.694	7.06	86.03	2140
		BLOQUE HUECO DE HORMIGON TIPO PESADO CLASE A, GRADO 1						
3	*****	19.00	14.07	18.67	6.500	7.26	94.61	2162
		BLOQUE HUECO DE HORMIGON TIPO PESADO CLASE A, GRADO 1						
4	*****	19.13	14.00	18.77	6.428	7.52	89.25	2140
		BLOQUE HUECO DE HORMIGON TIPO PESADO CLASE A, GRADO 1						

La muestra fue ensayada de acuerdo a Norma Coganor NGO 41054

#	Identificación	Medidas en cm			Peso Kg.	Abs. %	Resistencia kg/cm <sup>2</sup>
		Largo	Ancho	Altura			
01	*****	19.03	14.07	18.77	6.505	8.10	77.16
02	*****	39.10	14.03	19.13	12.852	7.02	71.16

Observaciones: muestra proporcionada por el interesado.  
 Atentamente,

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

Vo.Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez  
 DIRECTOR C.I.I.

/cbr

3. Informe de laboratorio S.C. 39 Sección de Morteros CII, USAC



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



Nº 002401

Informe No. S.C. - 39

O.T. No. 24043

**Interesado:** Freddy Estuardo Gudiel González Carné No. 8912649  
**Proyecto:** Trabajo de Graduación "Evaluación de la Incidencia del contenido de cemento del mortero en el comportamiento del conjunto Cemento-Mortero-Unidad de Mampostería, por medio del ensayo de prismas a Compresión Corte y Adherencia"  
**Asunto:** Determinación de trabajabilidad en campo.  
Velocidad de endurecimiento  
Ensayo de retención de agua  
Diseño de mezclas y resistencia a compresión y tensión a 3, 7 y 28 días.  
**Fecha:** 29 de Enero de 2009

I. RESULTADOS:

MUESTRA DE LABORATORIO			
Ensayo	Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3
Proporción (Cemento:Arena)	1:3	1:4.5	1:6
Relación A/C	0.82	1.21	1.61
Trabajabilidad	106.50	105.50	112.00

MUESTRA DE CAMPO					
Ensayo		Muestra No. 1	Muestra No. 2	Muestra No. 3	
Proporción (Cemento:Arena)		1:3	1:4.5	1:6	
Relación A/C		0.72	1.08	1.44	
Retención de Agua (%)		35.29	30.75	32.84	
Trabajabilidad		76.50	81.30	67.00	
Masa Unitaria (kg/m <sup>3</sup> )		1566.75	1558.50	1541.00	
Velocidad de Endurecimiento (min)	Inicial:	245	Inicial: 185	Inicial: 182	
	Final	420	Final: 420	Final: 360	
Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) (PSI)	7 días	(75.69) (1076.59)	(60.13) (855.21)	(51.80) (736.71)	
	28 días	(105.40) (1499.14)	(93.26) (1326.45)	(76.21) (1083.94)	
Resistencia a la Tensión (kg/cm <sup>2</sup> ) (PSI)	7 días	(14.06) (200.00)	(11.37) (161.67)	(10.90) (155.00)	
	28 días	(17.39) (247.33)	(20.62) (293.33)	(13.94) (198.33)	

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales  
Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol  
Jefa Sección Aglomerantes y Morteros

SECCION  
CONCRETOS

E.M.G

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993  
Página web: http://cii.usac.edu.gt

4. Informe de laboratorio S.E-04-2009 Sección de Estructuras CII, USAC



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



Nº 005002

INFORME TECNICO NO. E - 04 - 2009

O.T. 24058  
Pagina 1 de 10

Interesado: Freddy Estuardo Gudiel Gonzalez

Asunto Ensayos de Prismas de mampostería a Corte, Compresión Y Adherencia.

Fecha: Enero 2009.

**GENERALIDADES:**

El interesado presento varios prismas de mampostería elaborados con mortero de tres diferentes proporciones 1:3, 1:4.5, 1:6. Para ser ensayados a compresión, corte y adherencia en el centro de investigaciones de Ingeniería.

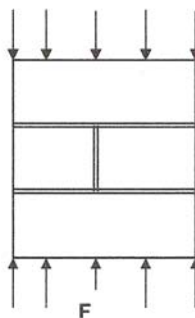
Generalidades del block: Se utilizaron blocks de 50 kg/cm<sup>2</sup> con dimensiones generales de 14 X 19 X 39 cm.

**ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESION:**

**Procedimiento de ensayo:**

Se coloca el prisma en el marco de carga debidamente nivelado verticalmente, para aplicar carga vertical (compresión) en su sección transversal. La carga se aplica gradualmente hasta observar el tipo de falla y la carga en la que ocurre hasta llegar al colapso. Los prismas se ensayaron a 7, 14 y 28 días de edad.

Carga Axial



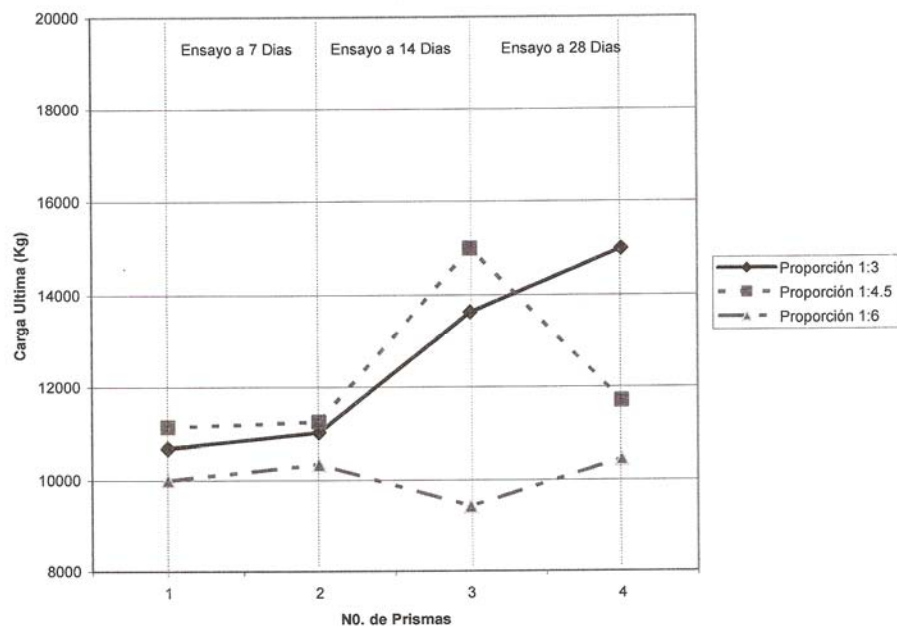
Ensayo a Compresión



RESULTADOS DE PRISMAS ENSAYADOS A COMPRESION						
Proporción de la Mezcla	Edad	Carga Ultima en (Kg)	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm2) área bruta	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm2) área neta	Modulo de Elasticidad (Kg/cm2)	Promedio de Carga Ultima en (Kg)
Proporción 1.3	7 Días	10,682	19.56	31.6	14,670	11,022
		11,364	20.81	33.62	25,215	
	14 Días	12,955	23.72	38.32	28,740	13,636
		14,318	26.22	42.36	31,770	
	28 Días	12,045	22.06	35.63	26,722	15,000
		17,955	32.88	53.12	39,840	
Proporción 1.4.5	7 Días	11,136	20.39	32.94	24,705	11,250
		11,364	20.81	33.62	25,215	
	14 Días	13,409	24.55	39.67	29,752	15,000
		16,591	30.38	49.08	36,810	
	28 Días	11,591	21.22	34.29	25,717	11,705
		11,818	21.64	34.96	26,220	
Proporción 1.6	7 Días	10,000	18.31	29.58	22,185	10,340
		10,682	15.56	31.6	23,700	
	14 Días	8,409	15.5	24.87	18,652	9,431
		10,455	19.14	30.93	23,197	
	28 Días	9,318	17.06	27.56	20,670	10,455
		11,591	21.22	34.29	25,717	



Grafica de Prismas a Compresion  
Grafica Carqa Ultima /Ka) Vrs Prisma

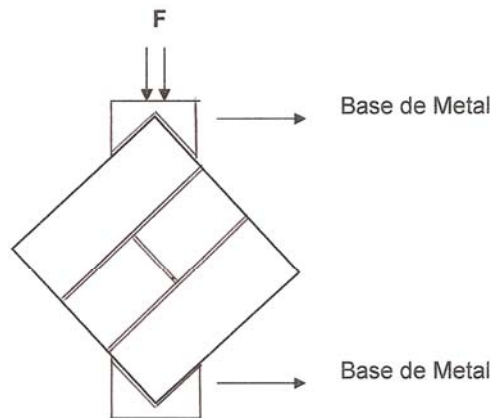




**ENSAYO DE PRISMAS A CORTE:**

**Procedimiento de ensayo:**

Se coloca el prisma en el marco de carga sobre una esquina formando la línea vertical con la esquina opuesta. La carga se aplica gradualmente en la esquina superior hasta observar el tipo de falla y la carga en la que ocurre hasta llegar al colapso. Los prismas se ensayaron a 7, 14 y 28 días.

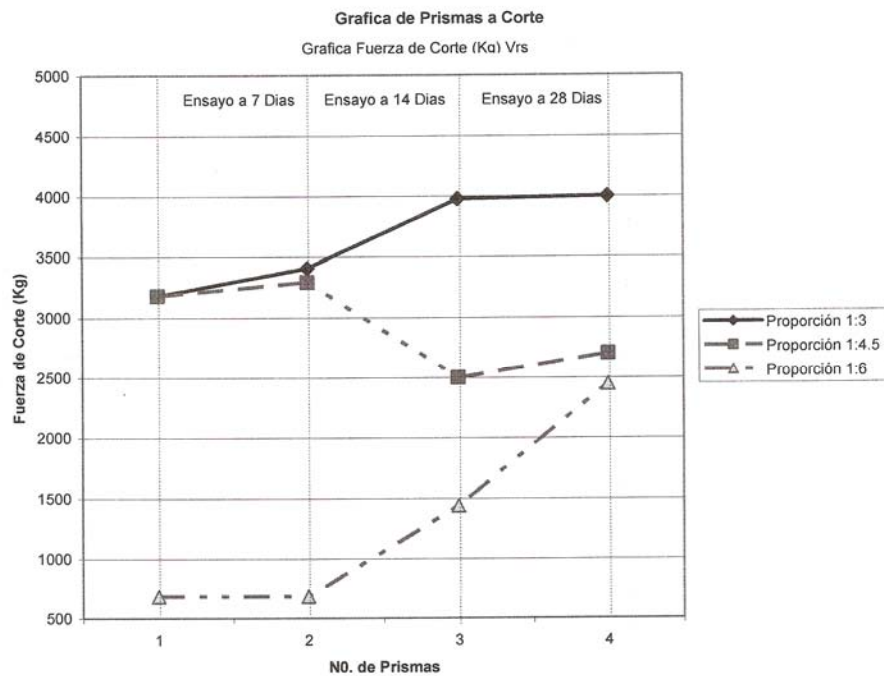


**Ensayo a Corte.**





RESULTDOS DE PRISMAS ENSAYADOS A CORTE				
Proporción de la Mezcla	Edad	Carga Ultima en (Kg)	Esfuerzo de Corte (Kg/cm2)	Promedio de Carga Ultima en (Kg)
Proporción 1.3	7 Días	3,182	3.21	3,409
		3,636	3.67	
	14 Días	3,864	3.9	3,977
		4,091	4.13	
	28 Días	3,400	3.43	4,000
		4,600	4.65	
Proporción 1.4.5	7 Días	3,182	3.21	3,295
		3,409	3.44	
	14 Días	2,500	2.52	2,500
		2,500	2.52	
	28 Días	2,200	2.22	2,700
		3,200	3.23	
Proporción 1.6	7 Días	682	0.68	682
		682	0.68	
	14 Días	1,441	1.45	1,441
		1,441	1.45	
	28 Días	2,200	2.22	2,450
		2,700	2.72	

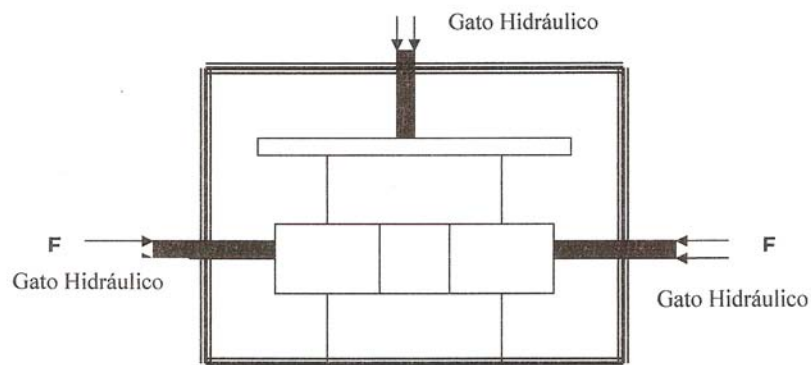




### ENSAYO PRISMAS DE ADHERENCIA:

#### Procedimiento de ensayo:

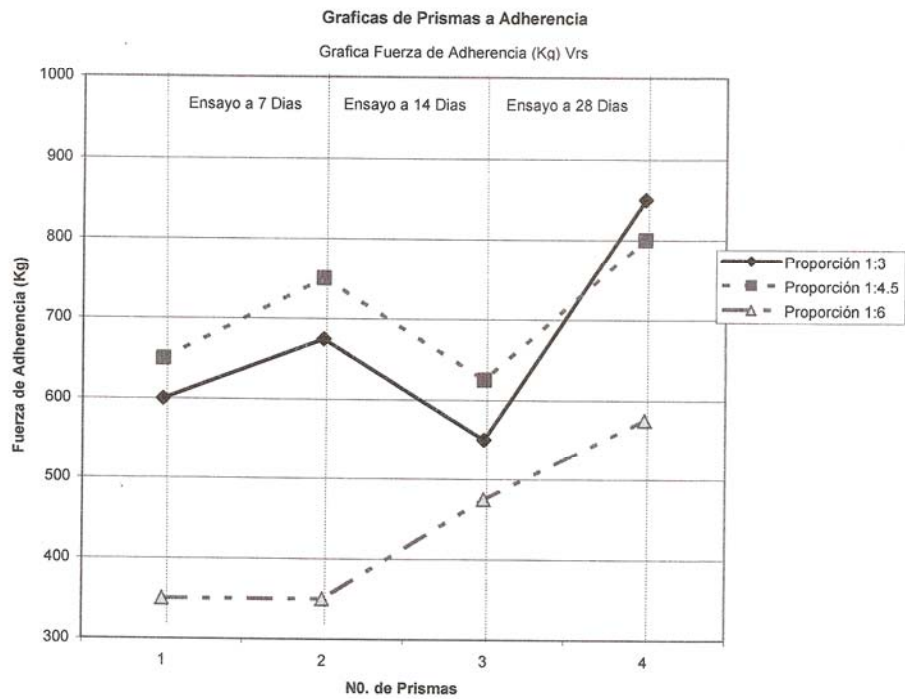
Se coloca el prisma se coloca el prisma dentro de un marco para aplicarle una carga vertical de confinamiento (para este caso igual a cero debido a la evaluación de la adherencia sin fricción) cargas laterales a los costados hasta que los elementos se desplacen, tomando únicamente la lectura al colapso. Los prismas se ensayaron a 7, 14 y 28 días.



Ensayo de Adherencia.



RESULTADOS DE PRISMAS ENSAYADOS A ADHERENCIA				
Proporción de la Mezcla	Edad	Fuerza de Adherencia (Kg)	Esfuerzo de Adherencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio de Fuerza de Adherencia en (Kg)
Proporción 1.3	7 Días	600	10.71	675
		750	13.39	
	14 Días	500	8.92	550
		600	10.71	
	28 Días	800	14.28	850
		900	16.07	
Proporción 1.4.5	7 Días	650	11.6	750
		850	15.17	
	14 Días	350	6025	625
		900	16.07	
	28 Días	800	14.28	800
		800	14.28	
Proporción 1.6	7 Días	350	6.25	350
		350	6.25	
	14 Días	450	8.03	475
		500	8.92	
	28 Días	550	9.82	575
		600	10.71	





**ANALISIS DE RESULTADOS:**

Las áreas de block son las siguientes:

Áreas del Block	
Área Bruta	546 cm <sup>2</sup>
Área Neta	338 cm <sup>2</sup>
Área de Corte	990.15 cm <sup>2</sup>
Área Contacto de Mortero	56 cm <sup>2</sup>

Por los resultados obtenidos en la determinación del f'm del blok: (84.7, 86, 94.6, 89.2, Kg/cm<sup>2</sup>), y su contenido de absorción a 48 hrs. Sumergido en agua (7.41 %, 7.06 %, 7.26 %, 7.52 %), concluimos la influencia que tienen las condiciones ambientales (humedad) en la elaboración de los prismas para ensayo. De allí que al observar la grafica de compresión, vemos que la proporción 1:4.5 resulto ser sensible en su resistencia después de los 14 días, ya que cuando se realizo la mezcla del mortero 1:4.5 el clima estaba seco, soleado y cuando se realizo la mezcla del mortero 1:3 estaba húmedo y lluvioso

La proporción de mortero 1:6 no se recomienda utilizarla para muros de carga por su poca capacidad de compresión, corte y adherencia, aunque si podría utilizarse para muros perimetrales.

  
Ing. Mario Rodolfo Corzo  
SECCION DE ESTRUCTURAS

  
Inga. Telma Marisela Cano Morales  
DIRECTORA, CII, USAC

