



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

**EVALUACIÓN DEL USO Y DESEMPEÑO DE CEMENTOS MEZCLADOS
UGC Y DE MAMPOSTERÍA EN MORTEROS DE LEVANTADO**

Juan Francisco Felipe Guarán

Asesorado por el Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus

Guatemala, junio de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL USO Y DESEMPEÑO DE CEMENTOS MEZCLADOS
UGC Y DE MAMPOSTERÍA EN MORTEROS DE LEVANTADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN FRANCISCO FELIPE GUARÁN

ASESORADO POR EL ING. SERGIO VINICIO CASTAÑEDA LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2008

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. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Maria del Mar Girón
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Miranda Castañon
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivònne Véliz Vargas

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 DEL USO Y DESEMPEÑO DE CEMENTOS MEZCLADO UGC Y DE MAMPOSTERÍA EN MORTEROS DE LEVANTADO,

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 13 de febrero de 2008.

Juan Francisco Felipe Guarán

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS:** Por guiarme y ayudarme en el logro de mis metas
- MIS PADRES:** Francisco Felipe y Clarita Guarán, por su apoyo, comprensión, esfuerzo, porque sin ellos no habría alcanzado mis metas, los quiero mucho.
- MIS HERMANOS:** Lydia, Sandy, Mario, Eduardo, por apoyarme en los momentos difíciles.
- MI ESPOSA:** Karin Orozco, por su amor, apoyo, comprensión y por ser parte de mi vida.
- MI HIJA:** Marcela Fernanda, porque eres mi tesoro máspreciado.
- MIS SOBRINOS:** Diego Pablo y Nataly, fuentes de inspiración.

AGRADECIMIENTOS A:

MI ASESOR:

Sergio Vinicio Castañeda, por su asesoría.

CENTRO TECNOLÓGICO CEMENTOS PROGRESO:

Por su apoyo y colaboración en este estudio.

CENTRO DE INVESTIGACIONES FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por su apoyo y colaboración, especialmente al Ing. Mario Corzo

MIS AMIGOS:

Noe, Artemio, Fermín, José Miguel, Luís Polanco, Elmer, Charly, Héctor, Wilby, Juan Pablo, Mario, Pablo Barillas, Mynor Ayala, Edwin, Derick, Sergio, Juan Ramon, Edy.

MIS COMPAÑEROS DEL CETEC:

Por su colaboración.

MIS COMPAÑEROS DE HSE:

Por su colaboración.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. MAMPOSTERÍA	1
1.1. Definición	1
1.2. Características	1
1.3. Tipos	2
1.3.1. Según el material	2
1.3.2. Según su arquitectura	2
1.3.3. Según su empleo en el edificio	2
1.3.3.1. Mampostería reforzada o estructural	2
1.3.3.2. Mampostería confinada	2
1.3.3.3. Mampostería simple	2
1.4. Parámetros importantes en el diseño de mampostería	3
1.5. Elementos de la mampostería	3
1.5.1. Unidades	3
1.5.2. Morteros	3
1.5.3. Grout	3
1.5.4. Refuerzo	3
1.5.5. Cimientos	4
1.5.6. Muros	4
1.5.7. Entrepisos	5

1.5.8.	Losas	5
1.6.	Composición	5
1.7.	Normas y ensayos aplicables	5
1.7.1.	ASTM	5
1.7.2.	Guatemala	7
1.7.2.1.	AGIES	7
1.7.2.2.	COGUANOR	7
2.	MORTEROS DE MAMPOSTERÍA	9
2.1.	Definición	9
2.2.	Generalidades	9
2.3.	Tipos	10
2.3.1.	De acuerdo al medio	10
2.3.2.	De acuerdo con el aglomerante que constituya el mortero	10
2.3.3.	Según su aplicación	11
2.3.3.1.	Levantado	11
2.3.3.2.	Acabados	11
2.3.4.	Según el sistema de fabricación	11
2.4.	Características	11
2.5.	Aporte estructural	14
2.5.1.	Mortero de acabado	14
2.5.2.	Mortero de levantado	15
2.5.3.	Mortero de inyección	15
2.5.4.	Morteros para reparación estructural	15
2.5.5.	Morteros de renovación superficial	16
2.6.	Normas y ensayos aplicables	16
2.6.1.	Componentes	16
2.6.1.1.	Cal	16
2.6.1.2.	Cemento	16

2.6.1.3.	Agregados	17
2.6.1.4.	Agua	18
2.6.1.5.	Aditivos	19
2.6.2.	Morteros	20
2.6.2.1.	Manejabilidad	20
2.6.2.2.	Retención de agua	20
2.6.2.3.	Velocidad de endurecimiento	20
3.	CEMENTO	23
3.1.	Definición	23
3.2.	Tipos	23
3.2.1.	Cemento Pórtland	23
3.2.2.	Cementos hidráulicos mezclados	24
3.2.3.	Cementos de mampostería	24
3.3.	Características	25
3.3.1.	Químicas	25
3.3.2.	Físicas y mecánicas	26
3.3.2.1.	Peso específico (densidad)	27
3.3.2.2.	Finura	27
3.3.2.2.1.	Superficie específica	27
3.3.2.2.2.	Finura tamiz No. 325	28
3.3.2.2.3.	Turbidímetro Wagner	28
3.3.2.3.	Consistencia normal	28
3.3.2.4.	Fraguado del cemento	28
3.3.2.5.	Falso fraguado	29
3.3.2.6.	Estabilidad de volumen	29
3.3.2.7.	Resistencia mecánica	29
3.4.	Normas y ensayos aplicables	29

4. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA	31
4.1. Definición	31
4.2. Propiedades	32
4.3. Tipos	32
4.3.1. Block de concreto	32
4.3.2. Ladrillo	33
4.3.3. Adobe	34
4.4. Características	34
4.4.1. Densidad	34
4.4.2. Resistencia a la compresión	35
4.4.3. Absorción	35
4.4.4. Contenido de humedad	36
4.4.5. Contracción lineal por secado	36
4.4.6. Aislamiento acústico	37
4.4.7. Aislamiento térmico	37
4.4.8. Resistencia al fuego	37
4.4.9. Acabado y apariencia	38
4.4.10. Características dimensionales	38
4.5. Aporte estructural	39
4.5.1. Unidad portante	39
4.5.2. Unidad no portante	39
4.6. Normas y ensayos aplicables	39
5. MUROS DE MAMPOSTERÍA	41
5.1. Definición	41
5.2. Tipos	41
5.2.1. Según su aspecto físico	41
5.2.2. Según su función	41
5.2.2.1. Muro estructural de mampostería	41

5.2.2.2. Muro no estructural de mampostería	41
5.2.3. Según su ubicación	41
5.2.3.1. Muros exteriores	41
5.2.3.2. Muros interiores	42
5.2.4. Según su material	42
5.3. Características	42
5.3.1. Prismas de mampostería	44
5.3.2. Juntas de construcción	44
5.4. Normas y ensayos aplicables	45
6. DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
6.1. Definición campo de estudio	47
6.2. Caracterización de materiales	47
6.2.1. Cementos	47
6.2.2. Blocks (COGUANOR 41 054)	50
6.2.3. Morteros (ASTM C-270)	51
6.2.3.1. Proporciones	51
6.2.3.2. Trabajabilidad	52
6.2.3.3. Retención de agua	52
6.2.3.4. Contenido de aire	52
6.2.4. Prismas	53
6.2.4.1. Ensayo de prismas a compresión (ASTM E-447)	54
6.2.4.2. Ensayo de prismas a corte (ASTM E-519)	56
6.2.4.3. Ensayo de prismas adherencia	58

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
7.1. Materiales	61
7.1.1. Cementos	61
7.1.1.1. Resistencia a compresión	62
7.1.1.2. Finura	62
7.1.1.3. Tiempos de fraguado	62
7.1.1.4. Consistencia normal	62
7.1.2. Blocks	63
7.1.3. Morteros	63
7.1.3.1. Relación a/c	63
7.1.3.2. Contenido de aire	64
7.1.3.3. Retención de agua	64
7.1.3.4. Resistencia a compresión	64
7.1.4. Prismas	64
7.1.4.1. Compresión	65
7.1.4.2. Corte	65
7.1.4.3. Adherencia	66
7.2 Costos	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS	73
BIBLIOGRAFÍA	75
APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Control de trabajabilidad, en laboratorio morteros	21
2. Equipo ensayo retención de agua en morteros	22
3. Equipo ensayo trabajabilidad, en obra ASTM C-780	22
4. Unidad de mampostería	31
5. Tipos de bloques huecos de concreto	33
6. Construcción de mampostería	34
7. Levantado de muros, construcción de mampostería	44
8. Ensayo de prismas	53
9. Prisma ensayo a compresión	55
10. Falla ensayo a compresión prismas	56
11. Ensayo prisma a corte	57
12. Ensayo adherencia prismas	58

TABLAS

I. Requerimientos para especificación por proporciones	12
II. Peso de materiales	12
III. Requerimientos para especificación por propiedades	13
IV. Usos de los morteros de cemento	13
V. Requisitos físicos de cementos de mampostería	17
VI. Límites permisibles calidad de agua	19
VII. Tipos de aditivos químicos, según la norma ASTM C-494	19
VIII. Límites de composición aproximada en óxidos, Cemento Pórtland	25
IX. Características de los compuestos químicos del cemento	26
X. Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería	43
XI. Resultados físico mecánicos cementos CPB	48
XII. Resultados físico mecánicos cementos CUGC	49
XIII. Resultados blocks enteros ($f'c = 35 \text{ kg/cm}^2$)	50
XIV. Resultados $\frac{1}{2}$ blocks ($f'c = 35 \text{ kg/cm}^2$)	51

XV. Tipos de morteros evaluados	52
XVI. Resultados morteros laboratorio y campo	53
XVII. Resultados carga última prismas a compresión	55
XVIII. Resultados promedio resistencia a compresión prismas	56
XIX. Resultados ensayo de corte prismas	57
XX. Resultados promedio resistencia al corte prismas	58
XXI. Resultados ensayo de adherencia prismas	59
XXII. Resultados promedio resistencia adherencia prismas	59
XXIII. Costos de materiales	67

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_b	Área bruta.
ACI	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto).
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Al₂O₃	Óxido de aluminio.
ASTM	<i>American Standard for Testing and Materials</i> (<i>Pruebas Estándar Americanas para Ensayos y Materiales</i>).
CaO	Óxido de calcio.
CPB	Cemento pega block.
CUGC	Cemento uso general en la construcción.
°C	Grados <i>Celsius</i> .
Fe₂O₃	Óxido férrico.

ISO	Organización Internacional para la Estandarización.
kg	Kilogramo.
km	Kilómetro.
MgO	Óxido de magnesio.
MC	Mortero cemento UGC.
MM	Mortero cemento mampostería.
Na₂O	Óxido de sodio.
PMC	Prisma mortero de cemento UGC.
PMM	Prisma mortero de cemento mampostería.
SO₃	Trióxido de azufre.
SiO₂	Dióxido de silicio.
σ	Esfuerzo.
%	Porcentaje.

GLOSARIO

Absorción	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%).
Adición	Material mineral que es incorporado al cemento o al concreto en diferentes proporciones, a fin de mejorar o transformar algunas de las propiedades.
AGIES	Siglas Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
Álcalis	Nombre dado a los óxidos metálicos del cemento que al ser solubles en el agua pueden actuar como bases enérgicas.
ASTM	Siglas en inglés de las <i>Pruebas Estándar Americanas Para Ensayos y Materiales</i> (American Standard for Testing and Materials).
Carga máxima	Es la carga máxima a compresión que resiste una unidad o espécimen individualmente.

Cemento Mezclado	Mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland con distintos tipos de adición que desarrollan propiedades para usos especiales en la construcción.
<i>Clinker</i>	Componente principal del cemento constituido por silicatos de calcio obtenido por medio de la cocción hasta fusión parcial de una mezcla convenientemente proporcionada y homogeneizada de materiales debidamente seleccionadas.
COGUANOR	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	Reducción en el volumen de una masa (unidad de mampostería, mortero o concreto), debida a una reacción química o a su secado.

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.

Mortero	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.
Norma	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.
Puzolana	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.
Relación a/c	Es el resultado de dividir la masa del agua entre la masa del cemento utilizados en un concreto o mortero.

Resistencia a la

compresión

Es la carga máxima a compresión que resiste una unidad o espécimen, dividida por el área de la sección transversal que la soporta, la cual puede ser el área bruta o el área neta.

Sílice

Existe normalmente como un óxido en forma soluble, insoluble y coloidal que se encuentra en casi todas las rocas, siendo el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc.

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 desde finales de los noventa existen en el mercado de la construcción nuevos tipos de cementos nacionales y extranjeros, pudiéndose mencionar cementos de uso general UGC y cementos de alta resistencia inicial ARI etc., y recientemente cementos de mampostería para mortero de levantados (Pega Block). Debido a la poca información con que se cuenta sobre las ventajas y aplicaciones de cada uno de estos, muchas veces no se usan de la mejor manera, siendo causa de molestias técnicas y pérdidas económicas al tener mezclas sobre- dosificadas que vuelven a las estructuras muy rígidas ante eventos sísmicos.

Por tal razón, se evaluó el uso del cemento mezclado tipo UGC (ASTM C-595, C-1157) y el cemento de mampostería (ASTM C-91) marca Cementos Progreso, por medio de procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables, en morteros realizados bajo las mismas condiciones de trabajabilidad, ensayando prismas de mampostería con los mismos materiales a compresión, corte y adherencia, para esto se contó con el apoyo de la Empresa Cementos Progreso y del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC.

Los resultados obtenidos permiten clasificar tanto a los materiales utilizados, así como los morteros evaluados, según las normas aplicables en cada caso.

OBJETIVOS

General

- Evaluar el uso de cementos mezclado UGC y de mampostería en morteros de levantado de acuerdo a las normas COGUANOR y ASTM aplicables.

Específicos

1. Analizar los cementos mezclado UGC y de mampostería utilizados (ASTM C-91, C-595, C-1157),
2. Caracterizar las unidades de mampostería utilizadas (COGUANOR 41 054).
3. Evaluar el uso de morteros elaborados con los dos tipos de cementos en prismas de mampostería (ASTM E-447 y E-519).

INTRODUCCIÓN

La industria cementera se encuentra entre los cinco sectores industriales que consumen mayor cantidad de energía a nivel mundial, esto ha provocado avances en tecnología y materiales en esta área, producto de presiones del tipo ambiental y económico. El uso de adiciones es actualmente una de las alternativas que más utilizan los productores de cemento, para satisfacer estas presiones; siendo Guatemala un país con una enorme riqueza de materiales puzolanicos naturales como tobas y cenizas volcánicas se debe de impulsar el uso de estos.

Se evaluaron morteros elaborados con cementos mezclado tipo UGC y de mampostería pega block, ambos marca Cementos Progreso por medio de procedimientos y especificaciones de las normas COGUANOR y ASTM aplicables.

El capítulo uno presenta aspectos teóricos sobre la mampostería, componentes tipos y normativa aplicable, el capítulo dos incluye definiciones y conceptos sobre morteros tipos, características y normas existentes. En el capítulo tres se amplía lo concerniente a cementos, tipos, normas y ensayos, el capítulo cuatro incluye teoría sobre las unidades de mampostería tipos y características.

El tema de muros y prismas se presenta en el capítulo cinco, indicando los ensayos que se pueden realizar a los mismos. En el capítulo seis incluye el desarrollo experimental así como los resultados obtenidos, por último, el capítulo siete contiene el análisis de resultados, al final se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente 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. Características

- Forma robusta de la estructura: la planta debe ser simétrica, regular y compacta.
- Cimentaciones sólidas: conviene usar cimiento corrido y que este reforzado de acuerdo al terreno.
- Materiales de buena calidad: deben satisfacer las normas técnicas aplicables, los morteros deben de poseer una resistencia adecuada de acuerdo a la unidad de mampostería que se utilicen.
- Muros resistentes: las estructuras deben poseer una adecuada densidad de muros, así como relación de esbeltez.
- Aberturas bien distribuidas: debe ser lo más pequeñas posibles, alejadas de las esquinas de los muros.
- Elemento horizontales de confinamiento.
- Elemento verticales de confinamiento.
- Mantenimiento periódico.

1.3. Tipos

1.3.1. Según el material

- Todo concreto
- Combinada con otros materiales

1.3.2. Según su arquitectura

- Sencilla
- Con acabados
- Unidades con acabados

1.3.3. Según su empleo en el edificio

1.3.3.1. 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.

1.3.3.2. 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.

1.3.3.3. 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.

1.4. Parámetros mas importantes en el diseño de mampostería

- Resistencia básica a la compresión σ'_{mo} .
- Resistencia básica al corte T'_{mo} .
- Módulo de elasticidad longitudinal E_m .
- Módulo de corte G_m .

1.5. Elementos de la mampostería

1.5.1. Unidades

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

1.5.2. 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.

1.5.3. 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.

1.5.4. 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.

1.5.5. 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

1.5.6. Muros

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

1.5.7. 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 aferentes a cada muro de apoyo.

1.5.8. 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

1.6. Composición

- Agua
- Agregado fino
- Cemento
- Aditivos

1.7. Normas y ensayos aplicables

1.7.1. ASTM

- Alambre liso de acero para refuerzo de concreto. (ASTM A-82).
- Alambre de acero para concreto armado. (ASTM A-496).

- Barras corrugadas de acero al carbono para hormigón reforzado. (ASTM A-615).
- Especificaciones de los agregados para concreto. (ASTM C-33).
- 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).
- Especificaciones estándar para cementos hidráulicos mezclados (ASTM C-595).
- 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).
- Muestreo y ensayo de concreto fluido ("Grouts"). (ASTM C-1019).
- 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).
- Determinación de la adherencia en prismas de mampostería sometidos a flexión. (ASTM E-518).
- Método de ensayo para determinar la resistencia por adherencia entre el mortero y las unidades de mampostería. (ASTM E-592).

1.7.2. Guatemala

1.7.2.1. Normas AGIES

1.7.2.2. 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. (1)

Mezclas de uno o mas conglomerantes inorgánicos, áridos, agua y a veces adiciones y/o aditivos. (3)

2.2. Generalidades

Las primeras estructuras de mampostería fueron construidas con piedra y morteros de barro; más tarde vinieron los morteros de arcilla y luego se descubrió que la cal producía un excelente aglomerante. El mortero de cal y arena fue usado en la construcción de mampostería hasta poco antes de la aparición del cemento Pórtland a mediados del siglo XIX.

El mortero ocupa entre el 10 y 20 % del volumen total de material de una pared de mampostería, sin embargo, su efecto en el comportamiento de esta es mayor que lo que indica este porcentaje. Estéticamente, puede añadir un colorido adicional o un acabado muy particular a las paredes. Funcionalmente, el mortero liga las unidades de mampostería y sirve de sello para impedir la penetración de aire, agua y vectores. (2)

Además se adhiere al refuerzo de las juntas, a las amarras metálicas y a los pernos anclados de tal modo que hace que actúen conjuntamente. Para la construcción y aplicaciones de cargas, el comportamiento del mortero incide tanto como la resistencia de las piezas de mampostería y la mano de obra.

Las propiedades estructurales de la mampostería están sujetas en general a dispersiones elevadas debido al poco control que puede ejercerse sobre las características de los materiales constructivos y sobre el proceso de construcción que es en general esencialmente artesanal.

2.3. Tipos

2.3.1. De acuerdo al medio

- Aéreos, que endurecen bajo la influencia del aire al perder agua y fraguan lentamente por un proceso de carbonatación.
- Hidráulicos, que endurecen bajo efecto del agua, desarrollan resistencias iniciales relativamente altas.

2.3.2. De acuerdo con el aglomerante que constituya el mortero

- 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. Las proporciones cal-agregado más usadas en morteros aéreos son 1:2 para repellos y 1:3 o 1:4 para mampostería simple. Si la proporción aumenta, el mortero es más pobre, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables, especialmente en repellos.

- 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.

- Morteros de cemento: 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 que entre el mezclado y la colocación en obra se tenga 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. 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 desconociéndose la resistencia que dichos morteros obtendrán una vez endurecidos. (ver tabla IV)

2.3.3. Según su aplicación

2.3.3.1. Levantado

Conjuntamente con otros materiales, ladrillos o piedras, crean estructuras resistentes, o como material de fijación para baldosas, mosaicos, etc.

2.3.3.2. Acabados

Es un mortero con diferente cantidad de capas según los componentes y la función que debe desempeñar. Para interiores solo tiene como finalidad dar mejor terminación, para exteriores además de dar mejor terminación también da impermeabilidad y protege las paredes de los agentes climáticos.

2.3.4. Según el sistema de fabricación

- Morteros industriales
- Morteros predosificados
- Morteros mezclados en situ

2.4. Características

En Guatemala, la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) es el organismo encargado de la normalización, aunque en el tema de morteros generalmente se aplica la norma **ASTM C-270** “*Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*” (Especificación estándar para morteros de mampostería), en ella se definen los tipos de morteros: M, S y N, pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero en ningún caso por ambas razones. El mortero en estado plástico debe fluir bien, ser trabajable,

contar con una buena retención de agua y mantener dichas propiedades por largo tiempo, además, debe adherirse bien a las unidades de mampostería y ser consistente entre una preparación de mezcla y otra.

El mortero especificado por proporción 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).

Tabla I Requerimientos para especificación por proporciones

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen				Cal hidratada	Proporción de agregados
		Cemento Pórtland o mezclado	Cemento de mampostería				
			M	S	N		
Cemento-Cal	M	1	--	--	--	1/4	No menos de 2 1/4 y no más de 3 veces la suma de los volúmenes separados de los materiales cementantes
	S	1	--	--	--	Entre 1/4 y 1/2	
	N	1	--	--	--	Entre 1/2 y 1 1/4	
	O	1	--	--	--	Entre 1 1/4 y 2 1/2	
Cementos de albañilería	M	1	--	--	1	--	
	M	--	1	--	--	--	
	S	1/2	--	--	1	--	
	S	--	--	1	--	--	
	N	--	--	--	1	--	
O	--	--	--	1	--		

Fuente: referencia (4)

Tabla II Peso de materiales

Material	Peso Kg/m ³
Cemento Pórtland	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: referencia (4)

Tabla III Requerimientos para especificación por propiedades

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión, mínima a 28 días Kg/cm²	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: referencia (4)

Tabla IV 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: referencia (2)

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 acabado

Un mortero de acabados (enlucidos) no tendrá los mismos requerimientos de desempeño que uno de levantado, de ahí que sus proporciones y procesos de aplicación son diferentes, para los primeros interesan principalmente aspectos de estética, protección contra los agentes ambientales, protección contra vectores de enfermedades, retención de agua,

tiempos de fraguado, adherencia y una adecuada trabajabilidad, por lo que su aporte estructural es poco dentro del muro. Generalmente, la resistencia a compresión es el parámetro de control más utilizado para evaluar morteros, debido a la facilidad con que se realiza esta prueba, otras propiedades pueden determinarse a partir de esta, como por ejemplo: la adherencia, el módulo de elasticidad y resistencia a la tracción.

2.5.2. 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.

2.5.3. Mortero de inyección

- Vinculación del acero de refuerzo vertical con los bloques.
- Incremento de áreas efectiva de la sección del muro para soportar esfuerzos cortantes horizontales.

2.5.4. Morteros para reparación estructural

- Modificados con micro sílice, diseñados para reparar concreto sometido a cargas estructurales.
- Tienen módulo de elasticidad compatibles con el concreto estructural
- Excelente adherencia, compensación de la retracción y contienen un inhibidor de la corrosión para asegurar su desempeño a largo plazo.

2.5.5. Morteros de renovación superficial

- Morteros mono componentes modificados con polímeros.
- Retracción compensada y diseñados específicamente para restaurar concreto e inhibir el deterioro antes de que ocurran daños posteriores.
- Productos con bajo módulo de elasticidad para ofrecer resistencia al agrietamiento e incorporar un inhibidor integral de corrosión para una excelente durabilidad.

2.6. Normas y ensayos aplicables

2.6.1. Componentes

2.6.1.1. Cal

- ASTM C-207 “Standard Specification for Hydrated Lime for Masonry Purposes” (Especificación estándar para cal hidratada para usos en mampostería) indica los requisitos que debe cumplir la cal:
 - Finura
 - Estabilidad
 - Plasticidad
 - Retención de agua
 - Capacidad de incorporación de arena

2.6.1.2. Cemento

- Cemento Portland debe cumplir con la norma ASTM C-150 “*Standard Specification for Portland Cement*” (Especificación estándar para cemento Portland).
- Cementos hidráulicos mezclados deben cumplir con la norma ASTM C-595 “*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*” (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados).
- Cementos de mampostería deben cumplir con la norma ASTM C-91 “*Standard Specification for Masonry Cement*” (Especificación estándar para cemento de mampostería).

Tabla V Requisitos físicos de cementos de mampostería

Tipo de cemento de mampostería	N	S	M
Finura, residuo en el tamiz No. 325, máximo; %	24	24	24
Expansión al autoclave, máximo; %	1.0	1.0	1.0
Tiempo de fraguado: Fraguado inicial mínimo; hr Fraguado final máximo; hr	2 24	1.5 24	1.5 24
Resistencia a la compresión, mínima; kg/cm ² 7 días 28 días	35 63	91 147	126 203
Contenido de aire en mortero, volumen; % Mínimo Máximo	8 21	8 19	8 19
Retención de agua, flujo después de succión como un porcentaje del flujo original, mínimo	70	70	70

Fuente: referencia (3)

2.6.1.3. Agregados

La norma ASTM C-144 “*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*” (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería) indica los requisitos que deben cumplir. Dentro de los factores que se toman en cuenta para su utilización, se tienen:

- El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien graduado. Su selección depende de la disponibilidad de él en la zona (depósitos aluviales, de cantera, etc.), costo de explotación y transporte y su comportamiento en el mortero en cuanto a

consistencia, resistencia y tamaños existentes representados en el módulo de finura.

- De la graduación del agregado dependen en muy buena parte la trabajabilidad y penetración de humedad. Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye.

2.6.1.4. Agua

Generalmente se especifica que el agua para el hormigón debe ser potable, sin embargo, hay casos en los que se debe utilizar agua de dudosa calidad, se deben realizar ensayos en morteros según la norma ASTM C-109, con el agua en cuestión y compararlos con otros realizados con agua destilada. La norma ASTM C-94 acepta que la resistencia de las probetas realizadas con el agua en estudio sea hasta un 90 % de la resistencia de las probetas patrón. La función del agua dentro de la mezcla se puede definir de la siguiente manera:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse.

Tabla VI Límites permisibles calidad de agua

Descripción	Límite permisible
Sólidos en suspensión	5 000 ppm máximo
Materia Orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y Bicarbonatos alcalinos (Alcalinidad total expresada en NAHCO3)	1 000 ppm máximo
Sulfatos (Ión SO4)	600 ppm máximo
Cloruros (Ión Cl)	1 000 ppm máximo
Ph	Entre 5.5 y 8

2.6.1.5. Aditivos

La norma ASTM C-494 “*Standard Specification for Concrete Admixtures*” (Especificación estándar de aditivos para concreto) indica las propiedades que deben cumplir.

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: referencia (3)

2.6.2. Morteros

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. La norma que generalmente se utiliza como referencia es la norma ASTM C-270.

2.6.2.1. 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. 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).

2.6.2.2. Retención de agua

Es una medida de la habilidad del mortero para mantener su plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como una unidad de mampostería. 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.

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

2.6.2.3. Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados, éstos dependen de diversos factores tales como las

condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra. 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), da un método de ensayo para evaluar este parámetro.

Figura 1 Control de trabajabilidad, en laboratorio morteros



Figura 2 Equipo ensayo retención de agua en morteros



Figura 3 Equipo ensayo trabajabilidad, en obra ASTM C-780



3. CEMENTO

3.1. Definición

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. (4)

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. (2)

3.2. Tipos

3.2.1. Cemento Pórtland

Se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar la composición química de las materias primas principales; el más común es el óxido de hierro. 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.

3.2.2. 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 Pórtland, 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, para usos generales y aplicaciones especiales, usando escoria de alto horno o puzolana, con cemento Pórtland, *clinker* de cemento Pórtland o cal hidratada, los cuales son:

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

3.2.3. Cementos de mampostería

Son cementos que confieren a los morteros una elevada docilidad, además de un mayor tiempo de fraguado que el usual. Tienen un poder de retención de agua elevado y se utilizan en la fabricación de morteros de albañilería.

Al final de la década de los 20, los fabricantes de cemento Pórtland de Estados Unidos, empezaron a formular combinaciones especiales de cementos y plastificantes para la industria de la mampostería. Estas se llamaron cementos de mampostería, materiales que generalmente se componen de alguno o varios de los siguientes elementos:

- 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. 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. 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.

3.3. Características químicas, físicas y mecánicas

3.3.1. Químicas

Tabla VIII Límites de composición aproximada en óxidos, Cemento Pórtland

Composición química aproximada Cemento Pórtland (%)	
Oxido	Contenido (%)
CaO	60-67
SiO ₂	5-50

Continúa

Al₂O	3-8
Fe₂O₃	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
SO₃	1-3

Fuente: referencia (1)

Tabla IX Características de los compuestos químicos del cemento

Características de los compuestos químicos del cemento				
Propiedad	Silicato tricalcio C ₃ S	Silicato dicalcio C ₂ S	Aluminato tricalcio C ₃ A	Alúminoferrito tetracalcio C ₄ 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: referencia (1)

3.3.2. Físicas y mecánicas

Dependen del estado en que se encuentre el cemento, son medidas por medio de ensayos normalizados, se pueden clasificar en:

- Cemento puro
- Pasta de cemento
- Mortero de cemento

3.3.2.1. Peso específico (densidad)

Es la relación existente entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa, su valor varía poco, en el caso de cementos mezclados y de mampostería es menor. No es un indicador de la calidad del cemento, pero a partir de ella se pueden deducir otras propiedades. Su utilidad principal está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto, entre los métodos existentes para su evaluación se pueden mencionar Le Chatelier, Schumann, Candler y el método del picnómetro.

3.3.2.2. Finura

La finura de molienda es una de las principales características del cemento, ya que está íntimamente ligada a su valor hidráulico, al aumentar la finura el cemento se hidrata y adquiere resistencia con mayor rapidez, y también se manifiesta mayor disposición en sus partículas para mantenerse en suspensión en la pasta recién elaborada, lo cual es ventajoso para la cohesión, manejabilidad y capacidad de retención de agua en las mezclas, como contrapartida una finura más alta representa mayor velocidad de generación de calor y mayor demanda de agua de mezclado en el concreto, situación no deseable por que se traduce en mayores cambios volumétricos y posibles agrietamientos en las estructuras.

El tamaño de los granos del cemento tiene una gran influencia sobre sus propiedades, especialmente la velocidad de hidratación, desarrollo de calor, retracción y aumento de la resistencia con la edad, aunque cementos más finos tiene mayor costo. Por estas razones, la finura es una propiedad vital y tiene que ser producto de un control riguroso.

3.3.2.2.1. Superficie específica

Se expresa por el área superficial de las partículas contenidas en un gramo de material (superficie específica) se mide en g/cm^2 .

3.3.2.2.2. Finura tamiz No. 325

El método consiste en tamizar una muestra bajo la acción de un chorro de agua a una presión de 0.7 kg/cm^2 (10 psi) durante un minuto, se expresa como el % que pasa respecto de una cantidad definida (1 gramo).

3.3.2.2.3. Turbidímetro Wagner

Consiste en medir de manera aproximada la distribución del tamaño de partículas del cemento por sedimentación, se fundamenta en la variación de la turbidez de una suspensión de cemento en un fluido, en función del tiempo y aprovechando la ley de Stokes.

3.3.2.3. Consistencia normal

El conjunto de cemento, agua y aire se llama pasta, los cementos pueden diferenciarse en los requerimientos de agua debido a su diferente superficie específica. Existe una determinada fluidez para la cual debe agregarse cierta cantidad de agua, esta se llama consistencia normal. Se expresa como un porcentaje en peso del cemento seco y suele variar entre 23 y 33 % dependiendo de las características del cemento, es complementaria de otros ensayos como la determinación de los tiempos de fraguado y estabilidad del volumen; se mide por medio del aparato Vicat.

3.3.2.4. Fraguado del cemento

Se refiere al fenómeno donde la pasta de cemento se rigidiza hasta que pasa de un estado plástico a uno sólido. Hay que indicar que fraguado no es igual que endurecimiento, en este la pasta adquiere resistencia en el fraguado no.

3.3.2.5. Falso fraguado

Si el cemento cuando esta almacenado se expone a humedad, puede ocurrir un falso fraguado en el cual el cemento se rigidiza a los pocos minutos de iniciar la mezcla.

3.3.2.6. Estabilidad de volumen

Es la capacidad de la pasta de cemento de mantener su volumen después del fraguado.

3.3.2.7. Resistencia mecánica

La resistencia a compresión del mortero de cemento es proporcional a la que se logra en concretos elaborados con este tipo de cemento en particular.

3.4. Normas y ensayos aplicables

- ASTM C-91 “*Standard Specification for Masonry Cement*” (Especificación estándar para cementos de mampostería)..
- ASTM C-595 “*Standard Specification for Blended Hydraulic Cements*” (Especificación estándar para cementos hidráulicos mezclados).

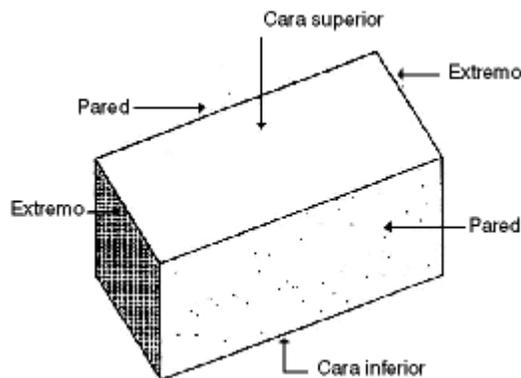
4. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA

4.1. 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. (1)

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)

Figura 4 Unidad de mampostería



- Cara superior en un bloque, es la cara que corresponde al extremo de los tabiques, con espesor mayor. Es la que recibe el mortero de la junta para poder asentar la hilada inmediatamente superior. Está definida por la longitud y el espesor de la unidad.
- Cara inferior en un bloque, es la cara que corresponde al extremo de los tabiques, con espesor menor. Está definida por la longitud y el espesor de la unidad

- Pared: cada una de las dos caras de una unidad, que hacen parte de las caras del muro que conforman, cuando está colocada en posición normal, se define por la longitud y la altura de la unidad.

4.2. Propiedades

- Resistencia a compresión
- Resistencia a tracción
- Módulo de elasticidad y relación de *Poisson*
- Contenido de humedad y absorción

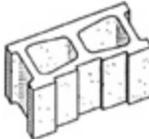
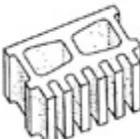
4.3. Tipos

4.3.1. Block de concreto

El bloque o unidad de mampostería de perforación vertical, es un elemento prefabricado de concreto, con forma de prisma recto y con una o más perforaciones verticales que superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías (por lo general muros), y es responsable, en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de dichas mamposterías.

Por su consistencia y resistencia, los bloques de mampostería estructural tienen un menor desperdicio que cualquiera de los otros elementos utilizados para el levante convencional, constituyendo otro de los factores económicos y ventajosos en los proyectos de construcción. Para lograr una adherencia adecuada es necesario que la superficie de las unidades de mampostería sea de textura lisa y abierta. Para permitir la unión mecánica del mortero y la unidad, ésta debe tener una absorción adecuada, compatible con el mortero. 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.

Figura 5 Tipos de bloques huecos de concreto

Principales tipos de bloques existentes			
			
Superficie moldeada plana	Superficie moldeada esgrafiada	Superficie moldeada escalonada	Superficie moldeada angulada
			
Superficie moldeada con media caña	Superficie moldeada ranurada, 1 ranura	Superficie moldeada ranurada, 3 ranuras	Superficie moldeada ranurada, 5 ranuras
			
Superficie moldeada estriada, 3 estrías cortas	Superficie moldeada ranurada, 1 ranura	Superficie moldeada ranurada, 3 ranuras	Superficie moldeada ranurada, 5 ranuras

4.3.2. Ladrillo

Es un elemento prefabricado, con forma de prisma recto, macizo o con perforaciones, generalmente verticales, que no superan el 25% de su área bruta. Se utiliza para elaborar mamposterías (por lo general muros de fachada), y es el responsable en muy buena medida, de las características mecánicas y estéticas de estas.

4.3.3. Adobe

Unidad de mampostería elaborada con barro y endurecida por secado, sin cocción; palabra incorrectamente utilizada para denominar una unidad de mampostería de arcilla cocida, maciza o perforada vertical u horizontalmente, o una unidad de mampostería, de concreto y maciza. Posee excelente aislamiento acústico y térmico pero pobre comportamiento ante eventos sísmicos, una de sus características es su baja resistencia a tensión, lo que se traduce en agrietamientos por tensión diagonal, por corte o verticales que pueden conducir al colapso parcial o total de la estructura.

Figura 6 Construcción de mampostería



4.4. Características

4.4.1. Densidad

La densidad de las unidades de concreto para mampostería depende, fundamentalmente del peso de los agregados y del proceso de fabricación (compactación dada a la mezcla); y en menor grado de la dosificación de la mezcla.

Se debe buscar que la densidad sea siempre la máxima que se pueda alcanzar con los materiales, dosificaciones y equipos disponibles, pues de ella

dependen directamente todas las demás características de las unidades como la resistencia a compresión, absorción, permeabilidad, durabilidad y su comportamiento al manipuleo durante la producción, transporte y manejo en obra; su capacidad de aislamiento térmico y acústico y las características de su superficie como la textura, el color, etc.

4.4.2. Resistencia a la compresión

Es la principal cualidad que deben tener las unidades de mampostería y varía con el tipo de mampostería que con ellas se vaya a elaborar. Está especificada para ser alcanzada a los 28 días de producidas las unidades, sin embargo se pueden utilizar a edades menores cuando se tenga un registro sobre la evolución de la resistencia de unidades de iguales características. Se pueden especificar resistencias a compresión mayores cuando lo requiera el diseño estructural, en cuyo caso se debe consultar a los proveedores locales por la disponibilidad de este tipo de unidades.

4.4.3. Absorción

Es la propiedad del concreto de la unidad para absorber agua hasta llegar al punto de saturación. Está directamente relacionado con la permeabilidad de la unidad o sea el paso de agua a través de sus paredes. Los límites para la absorción varían según el tipo de concreto con que esté elaborada la unidad y su valor se determina mediante el ensayo correspondiente.

Es importante tener los menores niveles de absorción posibles, ya que a mayor absorción de las unidades, éstas sustraen más agua del mortero de pega y de inyección, reduciendo o anulando la hidratación del cemento en la superficie que los une, con lo cual se pierde adherencia y se originan fisuras. Por el contrario, unidades totalmente impermeables evitan el intercambio de

humedad y la creación de una superficie de adherencia, dando como resultado uniones de baja resistencia, que se manifiestan como fisuras y que son permeables al agua. Una absorción baja reduce el ingreso de agua dentro de la masa de la unidad y, por ende, el de materiales contaminantes arrastrados por ésta, por lo cual se convierte en un requisito de calidad para la durabilidad.

4.4.4. Contenido de humedad

A diferencia de la absorción, el contenido de humedad no es una propiedad del concreto de la unidad como tal sino un estado de presencia de humedad dentro de la masa del mismo, entre la saturación y el estado seco al horno. El control del contenido de humedad de las unidades es fundamental pues, dado que el concreto se expande y se contrae con el aumento o disminución de su humedad, la colocación de unidades muy húmedas conlleva su contracción posterior y la aparición de fisuras. Lo anterior implica que es indispensable mantener los menores contenidos de humedad posibles en las unidades en todo momento, para la cual es necesario que, una vez se termina el curado éstas se sequen y se conserven en dicho estado.

4.4.5. Contracción lineal por secado

Refleja el grado de sensibilidad dimensional de la unidad a los cambios de humedad en su interior. Una unidad con una contracción lineal por secado mayor que otra se expande más al humedecerse y se encoge más al secarse que otra con un valor menor. La contracción lineal por secado es una característica del concreto de las unidades de mampostería dada por sus materiales (tipo y granulometría de los agregados, tipos y cantidad de cemento, etc.), dosificación y procesos de fabricación y curado.

Si el ambiente en la obra es muy seco, la unidad puede perder más humedad por lo cual se podrá encoger más y se tendrá más fisuración.

Este potencial se disminuye si la humedad ambiente es mayor, el contenido de humedad permitido disminuye directamente con el contenido de humedad ambiente, para cada nivel de contracción lineal por secado.

4.4.6. Aislamiento acústico

Después de chocar con un muro las ondas de sonido son parcialmente reflejadas, absorbidas y transmitidas en cantidades variables, dependiendo de la clase de superficie y la composición del muro. El estudio de estas características es de suma importancia en el diseño de teatros y auditorios, hoteles, hospitales, viviendas, escuelas y oficinas, en donde los ruidos de habitaciones adyacentes y del exterior son inaceptables.

La absorción del sonido se acentúa en los bloques de concreto con textura abierta y disminuye, hasta en un 3%, cuando han sido recubiertos con acabados lisos que contribuyen a cerrar los poros. Los muros de mampostería arquitectónica de concreto absorben entre el 18% y el 69% del sonido, dependiendo de la textura del concreto y del acabado de la superficie.

4.4.7. Aislamiento térmico

El aislamiento térmico es otra de las características que ofrecen los muros de mampostería de concreto y es inversamente proporcional a la densidad del concreto de las unidades. Adicionalmente, las perforaciones de los bloques funcionan como cámaras aislantes, pues el aire es menos conductor térmico que el concreto.

4.4.8. Resistencia al fuego

La resistencia al fuego de un muro está relacionada con el diseño y dimensiones de las unidades de mampostería, el tipo de agregados empleados en su fabricación, la relación cemento/agregados, el método de curado del concreto y su resistencia.

4.4.9. Acabado y apariencia

Todas las unidades deben estar sanas y no deben tener fisuras ni otros defectos que interfieran con un proceso de colocación de la unidad apropiado, o que perjudiquen significativamente la resistencia o permanencia de la construcción. Las unidades que se van a utilizar como base para un recubrimiento posterior, deben tener una superficie con una textura lo suficientemente abierta que permita una buena adherencia.

4.4.10. Características dimensionales

La variabilidad en las dimensiones de las unidades de mampostería altera el espesor del muro y del mortero de pega, modificando las características estructurales constructivas (apariencia final del muro, niveles de enrase, alineación de juntas, acabados adicionales, etc.). El sistema de unidades de concreto para mampostería es rigurosamente modular, y dado su proceso de fabricación las medidas son muy precisas y constantes. Sin embargo, deben estar dentro de ciertos límites pues variaciones entre celdas de moldes o el desgaste de los mismos, pueden dar lugar a diferencias entre unidades supuestamente iguales.

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 dimensiones, 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, o sea 10 mm.

4.5. Aporte estructural

Su principal aporte es la capacidad de soportar cargas verticales (resistencia a compresión), otros son cerramientos, divisiones.

4.5.1. Unidad portante

Unidad que se pueden utilizar para elaborar mampostería portante (estructural) o mampostería no portante (no estructural).

4.5.2. Unidad no portante

Unidad que se puede utilizar sólo para elaborar mampostería no portante (no estructural)

4.6. Normas y ensayos aplicables

- Unidades (bloques y ladrillos) de concreto. para mampostería estructural. (ASTM C-90).
- Determinación de la contracción lineal por secado en unidades (bloques y ladrillos), de concreto, para mampostería. (ASTM C-426).
- Método para determinar la resistencia a la tracción indirecta en unidades de mampostería. (ASTM C-1006).
- 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.

5. MUROS DE MAMPOSTERÍA

5.1. Definición

Elemento estructural de longitud o altura considerable con relación a su espesor, elaborado únicamente con mampostería. (1)

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. (3)

5.2. Tipos

5.2.1. Según su aspecto físico

- Con aberturas
- Sin aberturas

5.2.2. Según su función

5.2.2.1. Muro estructural de mampostería

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

5.2.2.2. 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.

5.2.3. Según su ubicación

5.2.3.1. Muros exteriores

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde podría 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.

5.2.3.2. 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 solicitaciones 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

5.2.4. Según su material

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

5.3. Características

- Desde la concepción de los diseños, seleccionar el tipo de las unidades a utilizar, para poder modular los muros según su longitud, espesor y altura (dimensiones).

- Hacer coincidir los ejes arquitectónicos con los estructurales, evitando el manejo de ejes múltiples para mayor facilidad constructiva y seguridad estructural.

- Diseñar y dibujar completa en planta, la primera hilada de los muros, con el fin de establecer las cantidades y características de las unidades que se van a utilizar en la obra y poder ofrecer una guía precisa para su construcción.

- Dibujar la alzada de los muros. con el fin de verificar la modulación de las unidades a las necesidades de las alturas de puertas y ventanas, total del piso y las dimensiones de los vanos.
- Aprovechar la modulación de las unidades de mampostería.
- Dentro de las celdas verticales de los muros elaborados con bloques, se pueden colocar las conducciones eléctricas, hidrosanitarias y de telecomunicaciones.
- Por las características físicas de las unidades, la mampostería reforzada provee al sistema un buen aislamiento térmico y acústico.

Tabla X Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería

Factores que afectan la resistencia a compresión de la mampostería $f'm$		
<i>Características unidades</i>	<i>Características morteros</i>	<i>Características prismas</i>
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 (3)

Figura 7 Levantado de muros, construcción de mampostería



5.3.1 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 fuerzas de 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 concreto si fuera el caso (2 días después de fundidos los prismas).

Para el diseño de estructuras de mampostería, sometidas a cargas laterales inducidas por vientos o movimientos sísmicos, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia al corte.

5.3.2 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 bloque 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

5.4 Normas y ensayos 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 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).

6 DESARROLLO EXPERIMENTAL

6.1 Definición campo de estudio

El objetivo principal del estudio es evaluar el uso de cemento mezclado UGC y cemento de mampostería, en morteros de levantado aplicados sobre unidades de mampostería definidas. Los materiales y elementos que se utilizaron en el estudio fueron los siguientes:

- Cemento mezclado tipo UGC marca Cementos Progreso (**CUGC**)
- Cemento de mampostería (Pega Block) tipo S ASTM C-91, marca Cementos Progreso (**CPB**)
- Arena de río
- Mortero de cemento (**MC**)
- Mortero de mampostería (**MM**)
- Block de 35 kg/cm², tamaño nominal 14x19x39 cm
- ½ block de 35 kg/cm²
- Prismas de mampostería (**PMC y PMM**)

6.2 Caracterización de materiales

6.2.1 Cementos

Se utilizaron dos tipos de cementos (cemento mezclado y de mampostería), fueron evaluados en el laboratorio de cementos del Centro Tecnológico de Cementos Progreso, cumpliendo con las especificaciones de las normas ASTM aplicables para cada caso. Se consideran adecuados para propósitos del estudio.

Tabla XI Resultados físico mecánicos cementos CPB

PARAMETRO	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C-91			ESPECIFICACIONES ASTM C-595
			N	S	M	
Fineza por Tamiz No. 325 (% Retiene)	12.48		Máximo 24	Máximo 24	Máximo 24	No especifica
Expansión en Autoclave (%)	0.03		1.0	1.0	1.0	
Superficie Específica Blaine (cm ² /g)	5264		No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
Consistencia Normal (mm)	9		No especifica	No especifica	No especifica	10 ± 1 mm la penetración
*Fraguado Gillmore (min.)	Inicial: 270		Inicial: No menos de 120 min.	Inicial: No menos de 90 min.	Inicial: No menos de 90 min.	--
	Final: 380		Final: No más de 24 horas	Final: No mas de 24 horas	Final: No mas de 24 horas	--
Resistencia a la compresión MPa (kg/cm ²)	1 día	4.6 (47.1)	No aplica	No aplica	No aplica	No especifica
	3 días	9.1 (93.0)	No aplica	No aplica	No aplica	Mínimo 13.0 (133)
	7 días	13.3 (136.0)	Mínimo: 3.4 (34.7)	Mínimo: 9.0 (91.8)	Mínimo: 12.4 (126.4)	Mínimo 20.0 (204.0)
	28 días	18.4 (187.4)	Mínimo: 6.2 (63.2)	Mínimo: 14.5 (147.9)	Mínimo: 20.0 (204)	Mínimo 25.0 (255.0)
Retención de agua %	75		Mínimo: 70	Mínimo: 70	Mínimo: 70	No especifica

*Este ensayo se realiza al cemento de mampostería.

Ver apéndice 1

Tabla XII Resultados físico mecánicos cementos CUGC

PARAMETRO	RESULTADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C-91			ESPECIFICACIONES ASTM C-595
			N	S	M	
Fineza por Tamiz No. 325 (% Retiene)	5.80		Máximo 24	Máximo 24	Máximo 24	No especifica
Expansión en Autoclave (%)	-0.01		1.0	1.0	1.0	
Superficie Específica Blaine (cm ² /g)	4403		No especifica	No especifica	No especifica	No especifica
Consistencia Normal (mm)	9		No especifica	No especifica	No especifica	10 ± 1 mm la penetración
Fraguado Vicat (min.)	Inicial: 200		Inicial: No menos de 120 min.	Inicial: No menos de 90 min.	Inicial: No menos de 90 min.	Inicial: No menos de 45 min.
	Final: 320		Final: No más de 24 horas	Final: No más de 24 horas	Final: No más de 24 horas	Final: No más de 7 horas
Resistencia a la compresión MPa (kg/cm ²)	1 día	-	No aplica	No aplica	No aplica	No especifica
	3 días	18.2 (185.7)	No aplica	No aplica	No aplica	Mínimo 13.0 (133)
	7 días	22.5 (228.2)	Mínimo: 3.4 (34.7)	Mínimo: 9.0 (91.8)	Mínimo: 12.4 (126.4)	Mínimo 20.0 (204.0)
	28 días	33.0 (335.8)	Mínimo: 6.2 (63.2)	Mínimo: 14.5 (147.9)	Mínimo: 20.0 (204)	Mínimo 25.0 (255.0)
Retención de agua %	-		Mínimo: 70	Mínimo: 70	Mínimo: 70	No especifica

Ver apéndice 2

6.2.2 Blocks COGUANOR 41 054 (ver apéndice 2)

Las propiedades físicas y mecánicas de mayor interés de las unidades son su resistencia a compresión y tensión, módulo de elasticidad, contenido de humedad y absorción, de acuerdo a los objetivos del estudio únicamente se evaluaron la resistencia a compresión, densidad y absorción, se utilizaron blocks enteros y mitades.

Tabla XIII Resultados blocks enteros ($f'c = 35 \text{ kg/cm}^2$)

Resultados análisis blocks enteros ($f'c = 35 \text{ kg/cm}^2$, 14x19x39 cm)				
No.	Masa (kg)	Resistencia a compresión MPa (kg/cm^2)	Densidad (kg/m^3)	Absorción (%)
1	11.38	45.0	2107.0	7.5
2	11.48	44.0		
3	11.67	48.0	2118.0	7.4
4	11.56	46.0		
5	11.64	50.0	2123.0	7.3
6	11.48	40.0		
7	11.54	42.0	2127.0	7.6
8	11.76	43.0		
9	11.62	45.0	2153.0	6.9
10	11.68	49.0		

Ver apéndice 3

Tabla XIV Resultados ½ blocks (f'c = 35 kg/cm²)

Resultados análisis ½ blocks (f'c = 35 kg/cm², 14x19x19 cm)				
No.	Masa (kg)	Resistencia a compresión MPa (kg/cm²)	Densidad (kg/m³)	Absorción (%)
1	6.27	4.6 (47.0)	2150.0	7.0
2	6.25	4.6 (47.0)		
3	6.23	4.9 (50.0)	2129.0	7.3
4	6.19	4.6 (47.0)		
5	6.22	5.0 (51.0)	2135.0	7.2
6	6.30	5.0 (51.0)		
7	6.34	5.3 (54.0)	2127.0	7.3
8	6.16	4.5 (46.0)		
9	6.18	4.7 (48.0)	2133.0	7.3
10	6.08	4.0 (41.0)		
Valor promedio	6.2	4.7 (43.1)	2135.0	7.2

Ver apéndice 3

6.2.3 Morteros (ASTM C-270)

Entre las principales propiedades del mortero se tienen la adherencia unidad-mortero, su consistencia y retención, la resistencia a compresión no tiene influencia alta dentro del comportamiento estructural de la mampostería

6.2.3.1 Proporciones

Para los dos morteros se fijaron los mismos criterios en cuanto a su dosificación, mezclado, manejo y curado, según fuera el caso de laboratorio y campo.

6.2.3.2 Trabajabilidad

Se tomaron las cantidades de materiales utilizados en campo, se replicaron en el laboratorio buscando un valor para la trabajabilidad entre 110 +/- 5 %, obteniéndose resultados similares para laboratorio y campo.

6.2.3.3 Retención de agua

Se tomaron las cantidades de materiales utilizados en campo, se replicaron en el laboratorio buscando el valor para la retención de agua obteniéndose resultados similares para laboratorio y campo en el Cemento UGC (50.0%, 49%) y mayor retención de agua para cemento Pega Block en laboratorio y campo (70% y 66%) .

6.2.3.4 Contenido de aire

Se tomaron las cantidades de materiales utilizados en campo, se replicaron en el laboratorio para obtener los resultados de campo para los morteros.

Tabla XV Tipos de morteros evaluados

Tipo de mortero	Proporción Volumen	Trabajabilidad %		Relación a/c %		Rendimiento (No. de blocks pegados)
		Laboratorio	Campo	Laboratorio	Campo	Campo
MC	1:3	110 ± 5	113	66.0	70.0	45 unidades
MM	1:3	110 ± 5	115	73.0	63.0	45 unidades

Tabla XVI Resultados morteros laboratorio y campo

Tipo de mortero	Parámetro							
	Trabajabilidad (%)		Retención de Agua (%)		Contenido de Aire (%)		Resistencia a compresión MPa (kg/cm ²)	
	Campo	Laboratorio	Campo	Laboratorio	Campo	Laboratorio	Campo	
							7 días	21 días
MC	123	110 ± 5	49.0	50	5.5	8.1	11.4 (116.2)	17.0 (173.3)
MM	108		66.0	70	4.5	8.3	4.6 (46.8)	7.1 (72.1)

Ver apéndice 4

6.2.4 Prismas (Ver apéndice 6)

Fueron construidos con una configuración de tres bloques de alto por un bloque de ancho, utilizándose mitades en la hilera intermedia (traslapados). Los prismas de fricción y adherencia tuvieron la misma configuración, dejándose una separación de 6.5 cm entre las mitades.

Figura 8 Ensayo de prismas



6.2.4.1 Ensayo de prismas a compresión (ASTM E-447)

La norma **ASTM E-447** “*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:

- Método A – para determinar datos comparativos en la resistencia a compresión de prismas de mampostería fabricados en laboratorio con cada unidad de mampostería diferente o tipo de mortero, o ambos.
- Método B – para determinar la resistencia a compresión de mampostería construida en el sitio de trabajo con los mismos materiales y mano de obra a utilizarse, en una estructura en particular.

Su valor debe calcularse como el cociente entre la carga máxima y el valor del área de la sección transversal, cuando el prisma tenga los huecos llenos, se deberá de utilizar el valor del área bruta, con los hueco vacíos se utilizara el área de contacto. 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.

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.

Figura 9 Prisma ensayo a compresión



Fórmula para calcular la resistencia a compresión:

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

Donde:

$f'p$ = esfuerzo de compresión último, en kg/cm^2

F = carga de compresión última, en kg

Ab = área neta del bloque, en cm^2

Tabla XVII Resultados carga última prismas a compresión

Tipo de prisma	Edad (días)	Resultados carga última kg_f					Promedio carga última (kg_f)
		1	2	3	4	5	
PMC	7	*11339.80	14288.20	16782.90	17916.90	18143.70	16782.93
	28	*14514.96	16556.12	16782.92	18143.70	*19504.47	17160.91
PMM	7	*9979.00	10432.60	11566.60	13154.20	*13607.80	11717.80
	28	*14514.96	15195.35	15195.35	15875.73	15875.73	15535.54

*Nota: Valores fuera del promedio.

Tabla XVIII Resultados promedio resistencia a compresión prismas

Tipo de prisma	Edad (días)	Valor carga última (kgf)	Valor resistencia a compresión área bruta Kg/cm ²	Valor resistencia compresión área Neta kg/cm ²
PMC	7	16782.93	30.74	47.95
	28	17160.91	31.43	49.03
PMM	7	11717.80	21.46	33.48
	28	15535.54	28.45	44.39

Figura 10 Falla ensayo a compresión prismas



6.2.4.2 Ensayo de prismas a corte (ASTM E-519)

Este método de ensayo esta 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). Generalmente los esfuerzos a corte están

combinados con los esfuerzos a compresión producidos por cargas muertas u otras acciones, por lo tanto se evalúan considerando el efecto de los esfuerzos de compresión en la dirección normal a las juntas horizontales.

Figura 11 Ensayo prisma a corte



Tabla XIX Resultados ensayo de corte prismas

Tipo de prisma	Edad (días)	Resultados carga última kg _f					Promedio carga última (kg _f)
		1	2	3	4	5	
PMC	7	*3179.00	3468.00	3612.50	3901.50	*4335.00	3660.67
	28	*4335.00	4624.00	4624.00	4913.00	*5202.00	4720.33
PMM	7	*2745.50	2890.00	3179.00	3468.00	*3757.00	3179.00
	28	*2890.00	3179.00	3179.00	3612.50	*3757.00	3323.50

*Nota: Valores fuera del promedio.

Tabla XX Resultados promedio resistencia al corte prismas

Tipo de prisma	Edad (días)	Valor Promedio carga última (kgf)	Valor Esfuerzo de corte (kg/cm ²)
PMC	7	3660.67	3.70
	28	4720.33	4.77
PMM	7	3179.00	3.21
	28	3323.50	3.36

6.2.4.3 Ensayo de prismas adherencia

Figura 12 Ensayo adherencia prismas



La fuerza de adherencia se determinó, según la siguiente ecuación:

$$F_h = E_g \cdot A_e$$

Donde:

F_h = carga lateral, en Kg.

E_g = esfuerzo del gato hidráulico

A_e = área del embolo gato

El esfuerzo de adherencia se obtiene de dividir la Fh entre el área total de contacto entre el mortero y el block.

Tabla XXI Resultados ensayo de adherencia prismas

Resultados ensayos adherencia en prismas							
Tipo de prisma	Edad (días)	Resultados fuerza de adherencia (kg_f)					Promedio fuerza adherencia (kg_f)
		1	2	3	4	5	
PMC	7	863.53	863.53	863.53	863.53	*914.40	863.53
	28	*990.58	1015.98	1117.58	1168.38	*1269.97	1100.65
PMM	7	*507.92	609.50	609.50	609.50	609.50	609.50
	28	*609.59	685.79	685.79	711.19	*761.98	694.26

*Nota: Valores fuera del promedio.

Tabla XXII Resultados promedio resistencia adherencia prismas

Tipo de prisma	Edad (días)	Fuerza de adherencia (kg_f)	Esfuerzo de adherencia(kg/cm²)
PMC	7	863.53	15.42
	28	1100.65	19.65
PMM	7	609.50	10.88
	28	694.26	12.40

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 Materiales

7.1.1 Cementos

Los cementos utilizados cumplen con las especificaciones de las normas ASTM aplicables para cada uno, su uso debiera estar orientado de acuerdo a sus características físicas, mecánicas y químicas particulares. El cemento mezclado de uso general en la construcción UGC (**CUGC**) es producido por la empresa Cementos Progreso (ASTM C-595), tiene adición de puzolanas que permiten usarlo en morteros de mampostería con resultados aceptables pero bajo las proporciones y condiciones adecuadas, se puede mencionar que su resistencia mecánica alcanza valores más altos que los cementos de mampostería a la misma edad, por lo que su uso puede estar condicionado por el tipo de unidad de mampostería utilizada y las condiciones del proyecto. De acuerdo a lo indicado en el trabajo de Graduación del Ing. Walter Álvarez (2007) la mayoría de morteros elaborados con este tipo de cemento en el área metropolitana de Guatemala están sobre dosificados, con valores de resistencia a compresión arriba de los 34.3 MPa (350 kg/cm²), esto puede hacer al conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería demasiado rígido y poco deformable, con la pérdida económica que esto significa en los proyectos.

El cemento de mampostería Pega Block (**CPB**) es producido por la empresa Cementos Progreso (ASTM C-91), tiene poco tiempo de estar en el mercado nacional, esto hace que los usuarios no conozcan las ventajas que ofrece al tener características físicas, mecánicas y químicas particulares para su uso en morteros de levantado y en otras aplicaciones de mampostería. Su resistencia mecánica es menor que la del **CUGC**, pero cumple con un mortero tipo S ASTM C-91, dado los valores obtenidos, el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería puede funcionar de mejor manera al ser menos rígido y

con mayor capacidad de deformación, asimismo la retención de agua en el mortero se puede beneficiar al usar estos cementos.

7.1.1.1 Resistencia a compresión

De acuerdo a los resultados obtenidos el valor de la resistencia a compresión del **CUGC** es mayor al **CPB**, el $f'c$ a los 28 días del **CUGC** 33.0 MPa (336.0 kg/cm²) y el **CPB** 18.4 MPa (187.4 kg/cm²), esto tiene el inconveniente en el **CUGC** que el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería se puede volver demasiado rígido y con poca capacidad para deformarse, sin embargo en las proporciones y condiciones adecuadas puede ser de utilidad esta característica.

7.1.1.2 Finura

De acuerdo a los resultados obtenidos el valor de finura en el tamiz No. 325, el **CUGC** (94.20%) mayor al del **CPB** (87.52%), a mayor finura mejor resistencia a compresión (mayor inversión de energía) y mayor demanda de agua y viceversa.

7.1.1.3 Tiempos de fraguado

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de fraguado, el **CUGC** (inicial 200 minutos y final 320 minutos) tiene tiempos menores a los del **CPB** (inicial 270 minutos y final 380 minutos), tiempos de fraguado más altos significan mayor posibilidad de manipular el mortero al momento de su aplicación, característica necesaria en la mampostería y sobre todo en los procesos de levantado y acabado de muros.

7.1.1.4 Consistencia normal

El porcentaje de agua para consistencia normal, para el **CUGC** (29.9 %) es menor que el del **CPB** (32.9 %), valores que están de acuerdo a las

características de cada tipo de cemento. Mayor demanda de agua significa menor resistencia a compresión y mayores tiempos de fraguado.

7.1.2 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 (35.0 kg/cm^2), su textura y resistencia se ve reflejada en los resultados de los ensayos de adherencia de prismas, el valor de absorción (7.2 %) y densidad (2135.0 kg/m^3) obtenidos indican una gran absorción de agua influida en el mortero y un peso considerable.

7.1.3 Morteros

Las características del mortero influyen en las propiedades de la mampostería de deformabilidad y adherencia, ya que ejerce un efecto de restricción en la deformación lateral de las unidades, induciendo un estado triaxial de esfuerzos mejorando su resistencia. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción. 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.

Los dos morteros fueron elaborados con la misma proporción 1:3 volumen (de uso regular en Guatemala), materiales y en condiciones iguales, contándose con el apoyo de un albañil (el mismo para las dos mezclas), del Centro Tecnológico de Cementos Progreso.

7.1.3.1 Relación a/c y trabajabilidad.

De acuerdo a los resultados obtenidos el **MC** tiene valores de relación a/c campo (66%), laboratorio (73%) y el **MM** en campo (70.0%), laboratorio (63.0) y,

medidos los dos por medio de la mesa de flow y del equipo de campo para medir trabajabilidad, 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. La trabajabilidad fue similar para laboratorio y campo quedando dentro del rango $110 \pm 5 \%$ indicado en la norma ASTM C-270 para el control de morteros en laboratorio.

7.1.3.2 Contenido de aire

El contenido de aire es importante para el mortero plástico y endurecido, por ello la importancia de su medición en obra. El contenido de aire recomendable para la construcción es de máximo 12%. Los resultados tanto de campo como laboratorio cumplen con este requisito.

7.1.3.3 Retención de agua

La retención de agua es uno de los factores de mayor importancia en la mampostería ya que esta nos permite tener mas tiempo abierto para colocar unidades de mampostería vemos en los resultados que el MM (70%) tiene mayor retención de agua que el MC (50%).

7.1.3.4 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión esta influida por las condiciones de campo, siendo mejores en laboratorio por tener ambiente controlado y proporciones normadas.

7.1.4 Prismas

Los prismas fueron elaborados y ensayados con los mismos materiales en condiciones iguales, contándose con el apoyo de un albañil (el mismo para todos los prismas) y del personal del Centro de Investigaciones de Ingeniería. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las

resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción, 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. 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.

7.1.4.1 Compresión

Esta falla 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. El tipo de falla obtenido fue la formación de grietas en el sentido vertical, producidas por deformaciones transversales, para ambos tipos de prismas.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a compresión, se presentaron valores más altos para el CUGC para ambas edades, esto nos indica un sobre diseño del mortero a continuación se presentan los resultados de carga última:

- PMC: 16782.93 Kg_f a 7 días y 17160.91 Kg_f a 28 días.
- PMM: 11717.80 Kg_f a 7 días y 15535.54 Kg_f a 28 días

7.1.4.2 Corte

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.
- Contenido de humedad de las unidades cuando se colocan.

Debido a estas condiciones el caso de cortante puro no tiene aplicación práctica en la mampostería, la resistencia a corte de la mampostería se evalúa considerando el efecto de los esfuerzos a compresión en la dirección normal a las juntas horizontales. Los esfuerzos de corte ocurren de manera combinada con los esfuerzos de compresión generados por las cargas muertas u otras acciones y se incrementan con la aplicación de estos esfuerzos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a corte, se presentaron valores más altos para el **CUGC** para ambas edades, registrándose los siguientes resultados para la carga última a corte a 7 y 28 días para **PMC** (3660.67 kg_f y 4720.33 kg_f) y **PMM** (3179.00 kg_f y 3323.50 kg_f) respectivamente

7.1.4.3 Adherencia

Parámetros que pueden afectar la adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero de levantado, relacionados con los materiales utilizados:

- Unidades: porosidad, tasa inicial de absorción de agua, rugosidad de la superficie, contenido de humedad y la reactividad química.
- Mortero: características de la arena, relación agua-cemento, retención de agua, contenido de agua y uso de aditivos.

La adherencia tiene varios aspectos que hay que considerar dentro su evaluación, estos son los siguientes:

- Tensión de la adherencia.
- Extensión de la adherencia (punto de adherencia).
- Textura de la unidad de mampostería y calidad del mortero

El tipo de falla obtenido fue la formación de grietas en el sentido horizontal, en el área de contacto entre el mortero y el block. De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de prismas a adherencia, se notó la

diferencia entre los dos cementos evaluados siendo los valores más altos para el **CUGC** para ambas edades, registrándose los siguientes resultados para la fuerza de adherencia a 7 y 28 días para **PMC** (863.53 kg_f y 1100.65 kg_f) y **PMM** (609.5 kg_f y 694.26 kg_f) respectivamente. La textura de las unidades utilizadas, la calidad del block y la falta de un curado adecuado afectaron este resultado ya que presentaba una superficie poco rugosa y alta absorción.

7.2 Costos

Se utilizaron los mismos materiales y mano de obra en el estudio, siendo las principales causas de variación en sus costos el precio de los cementos, dado que las proporciones y materiales fueron los mismos para los dos morteros y prismas evaluados.

De acuerdo a los costos calculados en las condiciones del estudio de los prismas a compresión, corte y adherencia, fue el cemento el material que influyo mas en el costo de los prismas pero también influyo la arena, siendo los **PMC (CUGC)** los que tuvieron el costo más alto con una diferencia de Q 22.70 con respecto a los **PMM (CPB)** de acuerdo al precio/kilogramo de cemento utilizado, esto debido al desperdicio al construir los prismas.

Tabla XXIII Costos de materiales

Costos materiales utilizados prismas PMC. PMM						
Tipo de material	Cantidad utilizada (kg)		Costo unitario materiales (Q)		Costos totales de prismas (Q)	
	CUGC	CPB	CUGC	CPB	PMC	PMM
CUGC (42.5Kg) Q 52.64 CPB (38Kg)Q 41.72	21.2	19.0	26.30	20.90	583.10	577.70 – 3% (desperdicio) = 560.4
Agregado fino Q 150.00/m ³	53.6 (0.022 m ³)	53.6 (0.022 m ³)	84.00			
Blocks (60 unidades) Q 4.54	60	60	272.40			
½ Blocks (60 unidades) Q 3.34	60	60	200.40			

CONCLUSIONES

1. El cemento mezclado UGC cumple con las especificaciones de las normas ASTM relacionadas a los morteros de mampostería (ASTM C-91, C-595, C-1157), pero sus características físico mecánicas son mayores, ya que este cemento está sobre diseñado para utilizarse en mampostería, en cambio el pega block está diseñado para que cumpla con estas normas.
2. En el comportamiento de la mampostería es necesario conocer los materiales utilizados, principalmente del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, ya que están afectadas por los materiales y mano de obra.
3. Los morteros elaborados son recomendables para mampostería, pero se tiene que combinar con una buena unidad de mampostería, block, y arena.
4. El cemento de mampostería, ya que éste da más tiempo abierto para la colocación de unidades.
5. El costo de los prismas es mayor para **PMC (CUGC)** debido al costo del cemento.
6. El tipo de falla a compresión en prismas fueron grietas verticales, en el ensayo a corte se presentaron grietas diagonales y en adherencia la falla se dio en la junta de mortero-unidad de mampostería.
7. El valor del cortante depende de la resistencia a la adherencia y la resistencia a fricción entre las juntas de mortero y las unidades.
8. La textura superficial de las unidades, influye en el comportamiento a la adherencia del conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería.

9. Las propiedades de deformación de la mampostería deben evaluarse sobre muros escala natural, debido a que los prismas solo representan el comportamiento de las juntas horizontales, sin tener en cuenta las juntas verticales y la trabazón entre las unidades.
10. De la adherencia mecánica entre las unidades y el mortero dependen las resistencias a esfuerzos de cortante y de tracción

RECOMENDACIONES

1. Impulsar otros estudios en mampostería dado que es el sistema constructivo que más se utiliza en Guatemala.
2. En los diseños de mampostería, utilizar las especificaciones y los criterios de durabilidad adecuados con base a la ubicación del proyecto.
3. Dado que el valor de la resistencia a compresión de la mampostería depende principalmente de las unidades, calidad del mortero y su interacción, en este tipo de estudios el control sobre la mano de obra y calidad de los materiales es preponderante para alcanzar resultados confiables.
4. Se recomienda en mampostería darle la importancia necesaria al grosor de la ciza, la aplicación de una presión de asentado de la unidad sobre el mortero, contribuye de manera importante a aumentar la tensión de adherencia (al forzar al agua del mortero a entrar en los poros de la unidad), a maximizar la extensión de contacto entre la unidad y el mortero, a homogenizar la adherencia entre todas las interfaces.
5. La condición de humedad de las unidades, es un factor a controlar en obra, por lo que es recomendable humedecerlas antes de usarse, sin que esto signifique saturarlas.
6. Utilizar morteros dosificados de acuerdo a los requerimientos particulares de cada proyecto (tipo de unidad, cargas consideradas en el diseño, otros), considerar el conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería, dado que uno sobre dosificado puede causar retracción u otros inconvenientes de servicio.
7. La relación a/c utilizada en los morteros es básica para tener un comportamiento mecánico adecuado.

8. 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.
9. El valor de la resistencia a compresión de la mampostería depende principalmente de las unidades, calidad del mortero y su interacción (conjunto cemento-mortero-unidad de mampostería), debido a que estos tienen diferentes características esfuerzo-deformación.
10. Para el ensayo a corte se recomienda evaluar el sistema empleado dado que puede influir en el resultado si no se aplica la carga de la manera adecuada para este ensayo.

REFERENCIAS

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES.
Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores NR 4. Guatemala 2000.
2. Molina Escobar, Kenneth Alejandro. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006.
3. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
4. <http://www.emagister.com/frame.cfm>

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcocer S. M. **Rehabilitación de estructuras de mampostería.** Instituto de Ingeniería UNAM. México.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES. **Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores NR 4.** Guatemala 2000.
3. ASTM *Book of Standards.* **American Standard for Testing and Materials. USA:** ASTM Vol. 04.02.2002
4. Franco Jiménez, Aldo Mario Iroshi. Determinación de la correlación de resistencia entre muros a escala natural y prismas de mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2005.
5. Molina Escobar, Kenneth Alejandro. Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escorias de horno. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2006.
6. Sánchez de Guzmán Diego. **Tecnología del concreto y del mortero.** Colombia Bhandar editores 2001.
7. **<http://www.emagister.com/frame.cfm>**

APÉNDICES

1. Informe análisis físico químico cemento UGC. Enero 2008
Centro Tecnológico Cementos progreso
2. Informe análisis físico químico cemento mampostería. Enero 2008
Centro Tecnológico Cementos progreso
3. Informe análisis físico blocks. Enero 2008
Centro Tecnológico Cementos progreso
4. Informe análisis físico morteros campo. Enero 2008
Centro Tecnológico Cementos progreso.
5. Informe análisis agregado fino. Enero 2008
Centro Tecnológico Cementos progreso
6. Informe prismas de mampostería. mayo 2008
Centro de investigaciones, Facultad de Ingeniera.

APENDICE 1

Informe análisis físico químico cemento UGC.



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av.18-01 Zona 6, La Pedrera
 Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181

OT:	10086-1
FECHA:	-
PÁGINA:	1

INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE CEMENTO

Cliete:	CENTRO TECNOLÓGICO	Muestra:	CEMENTO UGC	 Ing. Mario de León M. Jefe de Laboratorio
Dirección:	-	Procedencia:	-	
Contacto:	FRANCISCO FELIPE	Periodo de Ensayo:	Dic-07	
Teléfono:	-	Analista(s):	HC	

REPORTE DE ENSAYOS FISICOS EN CEMENTO

NORMA ASTM		C 187		C 191		C 266		C 151	C 451	C 185		
MUESTRA	FECHA	Cons. Normal (mm)	% H ₂ O para C.N.	Vicat Inicial (min)	Vicat Final (min)	Gillmore Inicial (min)	Gillmore Final (min)	% Expan. Autoclave	Falso Fraguado (%)	Contenido de aire (%)	% H ₂ O para cont. aire	FLOW para cont. aire (% w/w Cemento)
CEMENTO UGC	2007-12-04	9.00	29.5	200	320.0	-	-	-0.01	-	-	-	-

NORMA ASTM		C 188	C 1437		C 109					C 430	C 204	C 1506
MUESTRA	FECHA	Densidad g/cm ³	FLOW (% w/w Cemento)	% H ₂ O para FLOW	RESISTENCIA A COMRESIÓN (PSI)					FINEZA TAMIZ 325, % PASA	SUP. ESP. BLAINE (cm ² /g)	% Retención de H ₂ O
					1d	3d	7d	28d	56d			
CEMENTO UGC	2007-12-04	-	111	29.5	-	2641	3245	4775	-	94.20	4403	-

REPORTE DE ENSAYOS QUIMICOS EN CEMENTO*

MUESTRA	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% MgO	% K ₂ O	% Na ₂ O	% SO ₃	% LOI** (950 °C)	% TOTAL	% RI**

*Los óxidos generales determinados mediante difracción de Rayos X en el laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.
 ** LOI (Pérdida al Fuego) y RI (Residuo Insoluble) de acuerdo a la norma ASTM C 114.

Observaciones:

Los resultados presentados en este informe hacen referencia únicamente a las muestras presentadas por el cliente. Prohibida la reproducción total o parcial de éste informe, sin la autorización del CETEC.

APENDICE 2

Informe análisis físico químico cemento mampostería.



CEMENTOS PROGRESO S. A.
CENTRO TECNOLÓGICO
 15 Av.18-01 Zona 6, La Pedrera
 Tel: 2286 - 4178 Fax: 2286 - 4181

OT:	10086-2
FECHA:	-
PÁGINA:	1

INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS FÍSICO Y QUÍMICO DE CEMENTO

Cliente:	CENTRO TECNOLÓGICO	Muestra:	CEMENTO PEGABLOCK
Dirección:	-	Procedencia:	-
Contacto:	FRANCISCO FELIPE	Periodo de Ensayo:	Dic-07
Teléfono:	-	Analista(s):	HC

M. Leon
 Ing. Mario de León M.
 Jefe de Laboratorio

REPORTE DE ENSAYOS FISICOS EN CEMENTO

NORMA ASTM	C 187	C 191		C 266		C 151	C 451	C 185				
MUESTRA	FECHA	Cons. Normal (mm)	% H ₂ O para C.N.	Vicat Inicial (min)	Vicat Final (min)	Gillmore Inicial (min)	Gillmore Final (min)	% Expan. Autoclave	Falso Fraguado (%)	Contenido de aire (%)	% H ₂ O para cont. aire	FLOW para cont. aire (% w/w Cemento)
CEMENTO PEGABLOCK	2007-12-04	9.00	32.9	-	-	270	380	0.03	-	-	-	-

NORMA ASTM	C 188	C 1437		C 109					C 430	C 204	C 1506	
MUESTRA	FECHA	Densidad g/cm ³	FLOW (% w/w Cemento)	% H ₂ O para FLOW	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (PSI)					FINEZA TAMIZ 325, % PASA	SUP. ESP. BLAINE (cm ² /g)	% Retención de H ₂ O
					1d	3d	7d	28d	56d			
CEMENTO PEGABLOCK	2007-12-04	-	112	51.96	670	1322	1935	2665	-	87.52	5246	75

REPORTE DE ENSAYOS QUIMICOS EN CEMENTO*

MUESTRA	% SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% CaO	% MgO	% K ₂ O	% Na ₂ O	% SO ₃	% LOI** (950 °C)	% TOTAL	% RI**

*Los óxidos generales determinados mediante difracción de Rayos X en el laboratorio de Control de Calidad de Cementos Progreso.
 ** LOI (Pérdida al Fuego) y RI (Residuo Insoluble) de acuerdo a la norma ASTM C 114.

Observaciones:

Los resultados presentados en este informe hacen referencia únicamente a las muestras presentadas por el cliente. Prohibida la reproducción total o parcial de éste informe, sin la autorización del CETEC.

APENDICE 3

Informe análisis físico blocks.



OT 10085-5
FECHA 2008-01-09

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
PROYECTO: Tesis
ENSAYO: Densidad y Absorción
FECHA: 2007-Nov-14

RESULTADOS

MUESTRA	Densidad (kg/m ³)	Absorción %
Block entero	2107	7.5
Block entero	2118	7.4
Block entero	2123	7.3
Block entero	2127	7.3
Block entero	2153	6.9
Medio block	2150	7.0
Medio block	2129	7.3
Medio block	2135	7.2
Medio block	2127	7.3
Medio block	2133	7.3

Atentamente,

Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Agregados

MDL/cf

15 Avenida 18-01, Zona 6 C. A. PBX: 2286-4100 Fax: 2338-9112/13
www.cementosprogreso.com



OT 10085-1
FECHA 2008-01-09

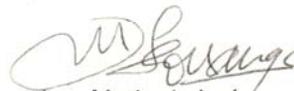
INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
MUESTRA: Block de 35 kg/cm²
PROYECTO: Tesis
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Bloque No.	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
1	14x19x39	11.384	4.401	45	-	2007-11-24	-
2	14x19x39	11.480	4.294	44	-	2007-11-24	-
3	14x19x39	11.667	4.673	48	-	2007-11-24	-
4	14x19x39	11.559	4.472	46	-	2007-11-24	-
5	14x19x39	11.641	4.922	50	-	2007-11-24	-

Atentamente,


Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

Laboratorio

MDL/cf



OT 10085-2
FECHA 2008-01-09

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
MUESTRA: Medio block de 35 kg/cm²
PROYECTO: Tesis
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Bloque No.	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
6	14x19x39	6.273	4.645	47	-	2007-11-24	-
7	14x19x39	6.251	4.655	47	-	2007-11-24	-
8	14x19x39	6.225	4.933	50	-	2007-11-24	-
9	14x19x39	6.186	4.591	47	-	2007-11-24	-
10	14x19x39	6.218	5.036	51	-	2007-11-24	-

Atentamente,

Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

Laboratorio

MDL/cf



OT 10085-3
FECHA 2008-01-09

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
MUESTRA: Block de 35 kg/cm²
PROYECTO: Tesis
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Bloque No.	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
11	14x19x39	11.480	3.918	40	-	2007-11-24	-
12	14x19x39	11.540	4.128	42	-	2007-11-24	-
13	14x19x39	11.760	4.249	43	-	2007-11-24	-
14	14x19x39	11.620	4.414	45	-	2007-11-24	-
15	14x19x39	11.680	4.764	49	-	2007-11-24	-

Atentamente,

Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

Laboratorio

MDL/cf



OT 10085-4
FECHA 2008-01-09

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
MUESTRA: Medio block de 35 kg/cm²
PROYECTO: Tesis
ENSAYO: Resistencia a Compresión.

RESULTADOS

Bloque No.	Medidas (cm.) AnchoXAltoXLargo	Masa kg	Resistencia Compresión		Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad Días
			N/mm ²	kg/cm ²			
16	14x19x19	6.300	4.961	51	-	2007-11-24	-
17	14x19x19	6.340	5.263	54	-	2007-11-24	-
18	14x19x19	6.160	4.467	46	-	2007-11-24	-
19	14x19x19	6.180	4.670	48	-	2007-11-24	-
20	14x19x19	6.080	4.006	41	-	2007-11-24	-

Atentamente,

Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

Laboratorio

MDL/cf

APENDICE 4

Informe ensayos morteros de campo.

APENDICE 5

Informe análisis agregado fino.



OT 10086
FECHA 2007-11-30

INFORME

CLIENTE: Centro Tecnológico
CONTACTO: Francisco Felipe
PROYECTO: Tesis Francisco Felipe
ENSAYO: Densidad Relativa y Absorción, Materia Orgánica, MUS, MUC. y MUSH.

RESULTADOS

MUESTRA	Densidad Relativa (g/cc)	Absorción %
Arena	2.41	3.10

Materia Orgánica (Color): # 2

MUS (kg/m³): 1246

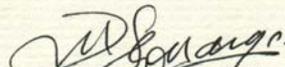
MUC (kg/m³): 1460

MUSH (kg/m³): 1124

Atentamente,

Laboratorio de Agregados

MDL/cf


Ing. Mario de León
Jefe de Laboratorio

APENDICE 6

Informe prismas de mampostería.



INFORME TECNICO NO. E - 03- 2008

O.T. 23074

Página: 1 de 10

INTERESADO: JUAN FRANCISCO FELIPE GUARAN
ASUNTO: ENSAYOS DE COMPRESION DE MAMPOSTERIA
FECHA: MAYO DEL 2008

GENERALIDADES:

El interesado presento varios prismas de mampostería elaborados con dos diferentes tipos de mortero. Para ser ensayados a compresión, corte y adherencia en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Generalidades del Block: Se utilizaron blocks de 35 kg/cm² con dimensiones generales de 14x19x39 cm

ENSAYO DE PRISMAS A COMPRESION:

Procedimiento De Ensayo:

Se coloca el prisma en el marco de carga debidamente nivelado verticalmente, para aplicarle 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 y 28 días de edad.

CARGA AXIAL



ENSAYO A COMPRESION



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



INFORME TECNICO NO. E - 03- 2008

O.T. 23074

Página: 2 de 10

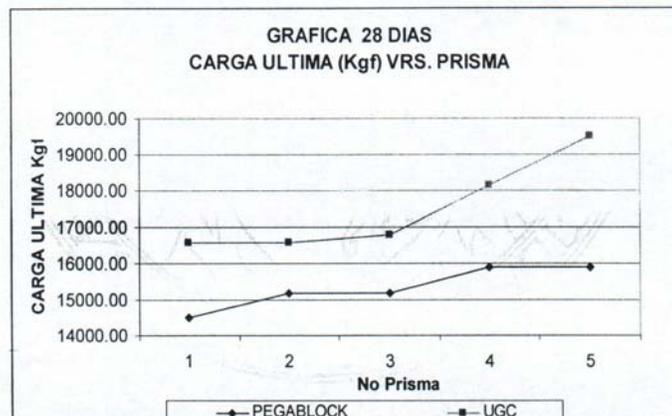
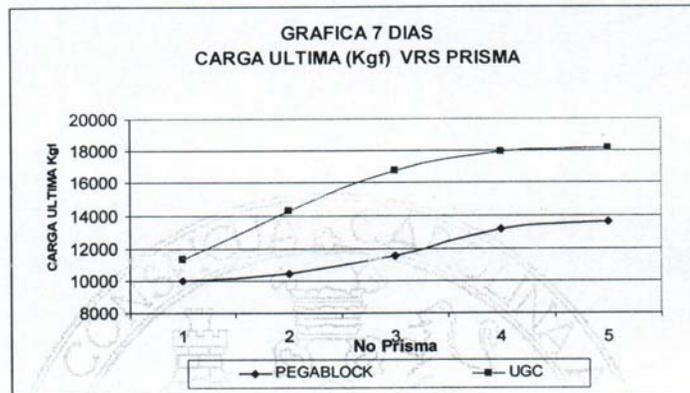
RESULTADOS:

7DIAS

TIPO DE MORTERO	Carga Ultima (Kg)	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm ²) Área Bruta	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm ²) Área Neta	Modulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO PEGABLOCK	9979.03	18.28	62.86	13707.46
	10432.63	19.11	65.71	14330.53
	11566.61	21.18	72.86	15888.20
	13154.18	24.09	82.86	18068.93
	13607.77	24.92	85.71	18691.99
MORTERO DE CEMENTO UGC	11339.81	20.77	71.43	15576.66
	14288.16	26.17	90.00	19626.59
	16782.92	30.74	105.71	23053.46
	17916.90	32.81	112.86	24611.13
	18143.70	33.23	114.29	24922.66

28 DIAS

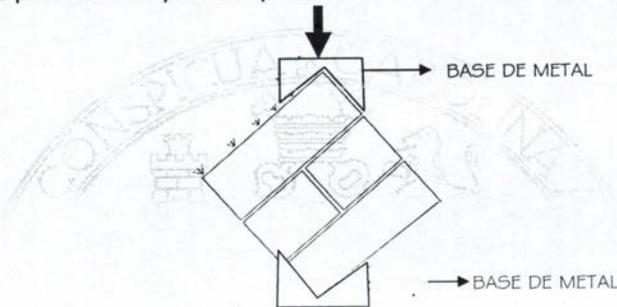
TIPO DE MORTERO	Carga Ultima (Kg)	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm ²) Área Bruta	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm ²) Área Neta	Modulo de Elasticidad (kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO PEGABLOCK	14514.96	26.58	91.43	19938.13
	15195.35	27.83	95.71	20872.73
	15195.35	27.83	95.71	20872.73
	15875.73	29.08	100.00	21807.33
	15875.73	29.08	100.00	21807.33
MORTERO DE CEMENTO UGC	14514.96	26.58	91.43	19938.13
	16556.12	30.32	104.29	22741.93
	16782.92	30.74	105.71	23053.46
	18143.70	33.23	114.29	24922.66
	19504.47	35.72	122.86	26791.86





ENSAYO 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 prisma se ensayaron a 7 y 28 días.



RESULTADOS:

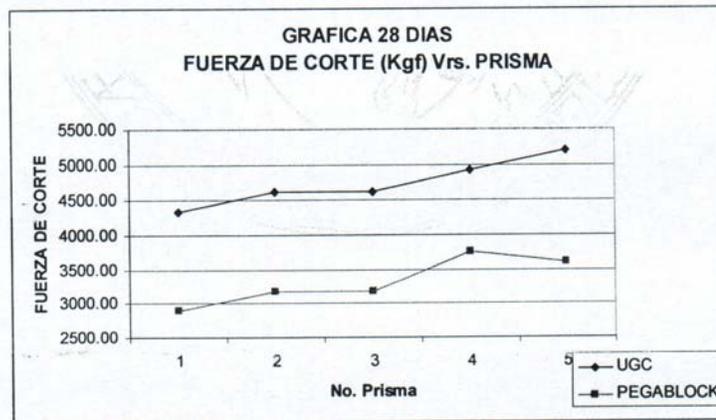
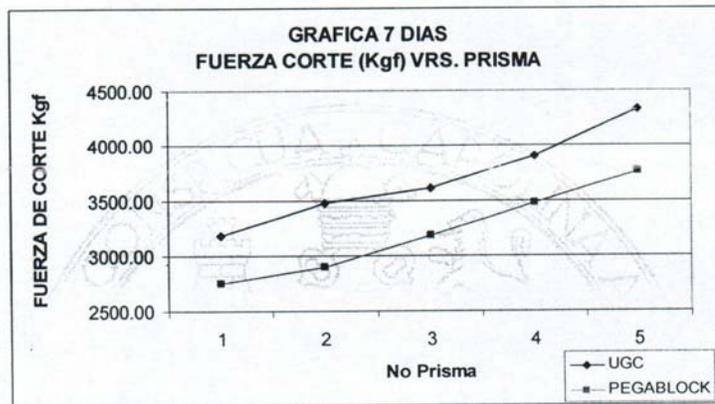
7 DIAS

TIPO DE MORTERO	Carga Ultima (Kg)	Esfuerzo Corte (Kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO PEGABLOCK	2745.50	2.77
	2890.00	2.92
	3179.00	3.21
	3468.00	3.50
	3757.00	3.79
MORTERO DE CEMENTO UGC	3179.00	3.21
	3468.00	3.50
	3612.50	3.65
	3901.50	3.94
	4335.00	4.38



28 DIAS

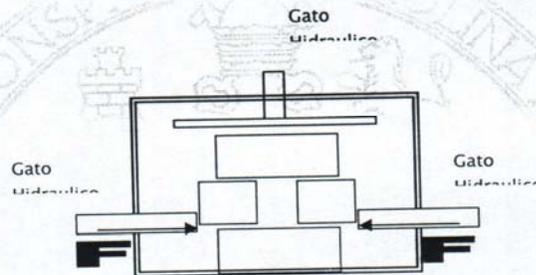
TIPO DE MORTERO	Carga ultima (Kg)	Esfuerzo corte (Kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO PEGABLOCK	2745.50	2.77
	2890.00	2.92
	3179.00	3.21
	3468.00	3.50
	3757.00	3.79
MORTERO DE CEMENTO UGC	3179.00	3.21
	3468.00	3.50
	3612.50	3.65
	3901.50	3.94
	4335.00	4.38





ENSAYO PRISMAS DE ADHERENCIA

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



RESULTADOS:

7 Días

TIPO DE MORTERO	Fuerza de Adherencia (Kg)	Esfuerzo de Adherencia (Kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO PEGABLOCK	507.92	9.07
	609.50	10.88
	609.50	10.88
	609.50	10.88
MORTERO DE CEMENTO UGC	609.56	10.89
	863.53	15.42
	863.53	15.42
	863.53	15.42
	863.53	15.42
	914.40	16.33



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

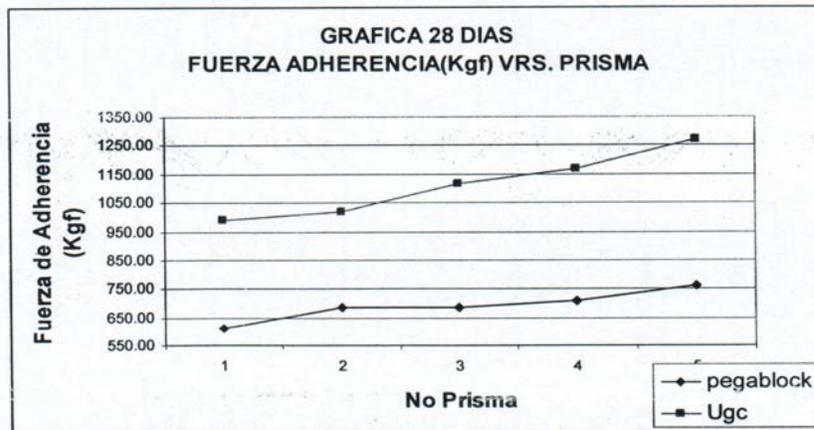
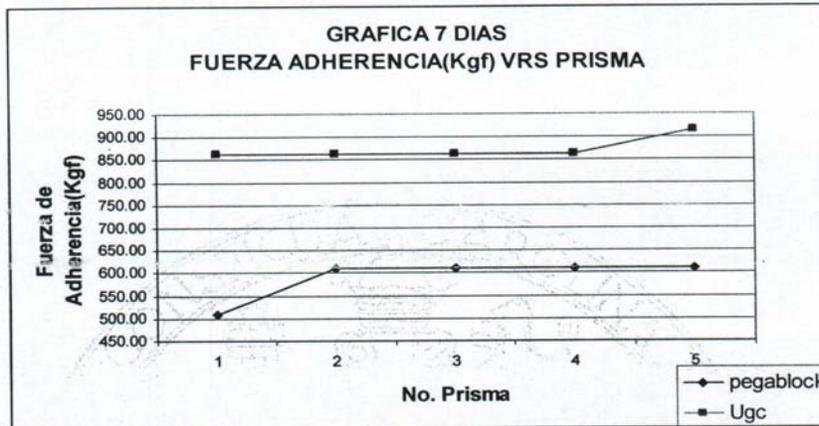


INFORME TECNICO NO. E - 03- 2008

O.T. 23074
Página: 8 de 10

28 Días

TIPO DE MORTERO	Fuerza de Adherencia (Kg)	Esfuerzo de Adherencia (Kg/cm ²)
MORTERO DE CEMENTO	609.59	10.89
	685.79	12.25
	685.79	12.25
PEGABLOCK	711.19	12.70
	761.98	13.61
MORTERO DE CEMENTO UGC	990.58	17.69
	1015.98	18.14
	1117.58	19.96
	1168.38	20.86
	1269.97	22.68





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



INFORME TECNICO NO. E - 03- 2008

O.T. 23074

Página: 10 de 10

ANALISIS DE RESULTADOS:

Las áreas del block son las siguientes:

AREAS DEL BLOCK	
AREA BRUTA	546 cm ²
AREA NETA	350 cm ²
AREA CORTE	990.15 cm ²
AREA CONTACTO MORTERO	56 cm ²

La calidad del block tubo influencia en los resultados, por lo que se recomienda evaluar con varios tipos de block.

El block tenía poca capacidad de adherencia con el mortero.

Ing. Mario Rodolfo Corzo

SECCION DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA



Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Escobar.
DIRECTOR - CII-USAC

