



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

**DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE
MAMPOSTERÍA**

José Mauricio Arriola Donis

Asesorado por el Ing. José Gabriel Ordoñez Morales

Guatemala, noviembre 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



**DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE
MAMPOSTERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

JOSÉ MAURICIO ARRIOLA DONIS
ASESORADO POR EL ING. JOSE GABRIEL ORDOÑEZ MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Oswaldo Escobar Álvarez
EXAMINADOR	Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne 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:

**DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE
MAMPOSTERÍA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha dieciocho de febrero de dos mil nueve.



José Mauricio Arriola Donis

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES:

Juan Arriola y Marily Donis, por su apoyo, comprensión y esfuerzo, son mi inspiración para lograr todas mis metas.

MIS HERMANOS:

Juan Miguel y Julio Mariano.

MIS ABUELOS:

Julio Daniel Arriola Aquino (D. E. P.)
Luz Alvarado Álvarez
Aura Adilia Cornejo Pérez
Miguel Donis Sagastume (D. E. P.)

MIS TIOS Y PRIMOS:

Por el aprecio demostrado hacia mi persona.

MIS AMIGOS:

Por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

MI ASESOR:

Gabriel Ordoñez, por compartir todos sus conocimientos y guiarme por el camino correcto.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS:

Por todas las enseñanzas brindadas por esta casa de estudios para el pueblo.

CENTRO DE INVESTIGACIONES

FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por su apoyo y colaboración en la realización de este trabajo de graduación.

CATEDRATICOS DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA:

Por todo el aprecio y apoyo que siempre les caracteriza con todo el estudiantado.

RENSERSA, S. A.

Empresa donde encontré amigos que me apoyaron en todo momento, durante la realización de este trabajo de graduación.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 16 de octubre de 2009

Ingeniero
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Quiñonez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el Trabajo de Graduación titulado "**DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA**", desarrollado por el estudiante universitario José Mauricio Arriola Donis, con la asesoría del suscrito.

El trabajo en mención satisface los requisitos que exige la facultad, por lo cual recomiendo que se continúe con los trámites para la aprobación de la misma.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente



Ing. José Gabriel Ordoñez Morales

Ing. Civil, Col. No. 3807

Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 05 de noviembre de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería”**, realizado por el estudiante universitario **José Mauricio Arriola Donis**, quien contó con la asesoría del Ingeniero José Gabriel Ordóñez Morales.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Arriola Donis**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

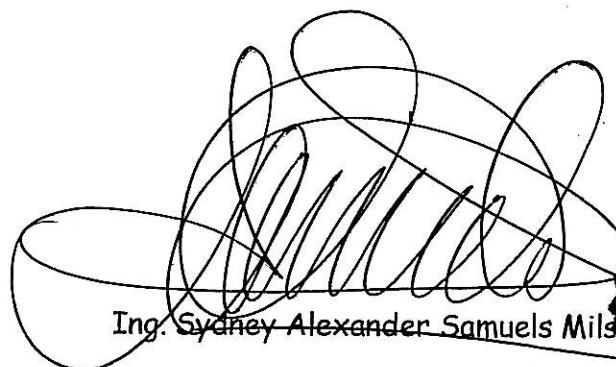

Francisco Javier Quiñón de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles


Cc archivo



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Gabriel Ordoñez Morales y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante José Mauricio Arriola Donis, titulado DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



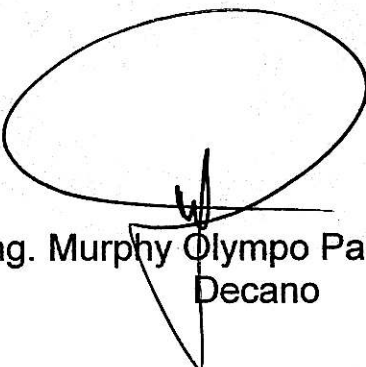
Guatemala, noviembre 2009.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE MORTEROS CON CEMENTOS HIDRÁULICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CON ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA**, presentado por el estudiante universitario **José Mauricio Arriola Donis**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, noviembre de 2009



/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DESCRIPCIÓN INTRODUCTORIA SOBRE EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MAMPOSTERÍA.....	1
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN MORTEROS PARA LA UNIÓN DE ELEMENTOS MAMPUESTOS.....	3
2.1 Tipos de cementos.....	3
2.2 Características de los agregados.....	7
2.2.1 Tipos de agregados.....	7
2.2.2 Propiedades de los agregados.....	8
2.3 Características del agua.	9
2.3.1 Agua de mezclado.....	9
2.3.2 Agua de curado	10
2.4 Propiedades mecánicas de los morteros.	11
2.4.1 Propiedades en estado plástico:	12
2.4.1.1 Trabajabilidad:	12
2.4.1.2 Retención de agua.....	13

2.4.1.3	Velocidad de endurecimiento	13
2.4.1.4	Contenido de aire	13
2.4.1.5	Masa unitaria.....	14
2.4.2	Propiedades en estado endurecido	15
2.4.2.1	Retracción	15
2.4.2.2	Adherencia	15
2.4.2.3	Resistencia a la compresión.....	16
2.4.2.4	Durabilidad	17
2.4.2.5	Permeabilidad	17
2.4.2.6	Eflorescencia.....	17
2.4.2.7	Apariencia	18
2.5	Tipos y usos de los morteros.....	18
2.5.1	Tipos	18
2.5.1.1	Morteros de cemento hidráulico	18
2.5.1.2	Morteros de cal.....	19
2.5.1.3	Morteros de cal y cemento hidráulico.....	19
2.5.2	Usos.....	20
2.6	Morteros utilizados en Guatemala	21
2.6.1	Elaborados en obra.....	21
2.6.2	Pre-mezclados	21
2.6.3	Pre-dosificados	22

3.	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA.	23
3.1	Características de los diferentes elementos de mampostería:	23
3.1.1	Elementos de mampostería fabricados en el medio.	25
3.1.1.1	Bloques de hormigón	25
3.1.1.2	Ladrillos de barro cocido:	28
3.1.1.3	Rocas naturales	33

3.2	Propiedades mecánicas de los diferentes elementos de mampostería.	34
3.2.1	Propiedades mecánicas de ladrillos de barro cocido y bloques de hormigón:.....	35
3.2.1.1	Resistencia a la compresión:.....	35
3.2.1.2	Absorción:.....	36
3.2.1.3	Durabilidad:.....	37
3.2.1.4	Clasificación de las piezas de mampostería de acuerdo a sus propiedades:	38
3.2.2	Propiedades mecánicas de rocas naturales:.....	41
4.	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA.	43
4.1	Mampostería de ladrillos de barro cocido y bloques de hormigón: ..	43
4.1.1	Resistencia a compresión:	43
4.1.2	Módulo de elasticidad:.....	44
4.1.3	Resistencia a cortante:.....	44
4.2	Propiedades mecánicas de mampostería de roca natural	45
5.	VALORES INDICATIVOS PARA EL DISEÑO DE MORTEROS DE USO EN MAMPOSTERÍA.	47
5.1	Normativa para materiales a utilizar en morteros.....	50
5.2	Clasificación de los morteros, según norma ASTM C-270.....	51
5.3	Selección del tipo de mortero según su uso	53
6.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR PARA LA EVALUACIÓN DE MORTEROS.	55
6.1	Ensayos para morteros	57

6.1.1	En estado plástico.....	57
6.1.1.1	Flujo y trabajabilidad en morteros	57
6.1.1.2	Retención de agua	58
6.1.1.3	Masa unitaria.....	60
6.1.1.4	Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración	61
6.1.2	En estado endurecido	62
6.1.2.1	Resistencia a la compresión.....	62
6.1.2.2	Resistencia a la tensión	63
6.1.2.3	Adherencia	64
6.2	Ensayos para muros de mampostería	67
6.2.1	Resistencia a la compresión	67
6.2.2	Resistencia al cortante.....	68

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS 71

7.1	Ensayo de flujo (<i>flow</i>) y trabajabilidad:	71
7.2	Ensayo de retención de agua:	74
7.3	Ensayo de masa unitaria:	75
7.4	Ensayo de velocidad de endurecimiento por medio de resistencia a la penetración:	77
7.4.1	Diseño 1:.....	78
7.4.2	Diseño 1N	79
7.4.3	Diseño 5N:	80
7.4.4	Diseño 4:.....	81
7.4.5	Diseño 5:.....	82
7.5	Ensayo de compresión:	84
7.5.1	Ensayo de compresión, diseño 1:	84
7.5.2	Ensayo de compresión, diseño 1N:	85
7.5.3	Ensayo de compresión, diseño 5N:	86

7.5.4	Ensayo de compresión, diseño 4:	87
7.5.5	Ensayo de Compresión, Diseño 5:	88
7.6	Ensayo de tensión:.....	90
7.6.1	Ensayo de tensión, diseño 1:	90
7.6.2	Ensayo de tensión, diseño 1N:.....	91
7.6.3	Ensayo de tensión, diseño 5N:.....	92
7.6.4	Ensayo de tensión, diseño 4:	93
7.6.5	Ensayo de tensión, diseño 5:	94
7.7	Ensayo de adherencia:	96
7.8	Ensayo de compresión en prismas de mampostería:	98
7.9	Ensayo de corte en prismas de mampostería:.....	100
7.10	Relaciones esfuerzo de compresión de los morteros / esfuerzo cortante en prismas de mampostería:.....	102
7.11	Relaciones esfuerzo de compresión en morteros / esfuerzo de compresión en prismas de mampostería:	104
CONCLUSIONES.....		107
RECOMENDACIONES.....		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS		113
ANEXOS.....		115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Edificio multifamiliar en mampostería reforzada	2
2. Esquema estructural de casa unifamiliar en mampostería confinada.....	2
3. Aplicaciones de los tipos de cemento.....	6
4. Palet de bloques de hormigón	27
5. Partes y dimensiones de un ladrillo	30
6. Aparejos de ladrillos	32
7. Amasado de mortero	47
8. Ilustraciones de los ensayos realizados	56
9. Ensayo de flujo y trabajabilidad	58
10. Ensayo de retención de agua	59
11. Ensayo de masa unitaria	60
12. Ensayo de velocidad de endurecimiento por el método de resistencia a la penetración	61
13. Ensayo de compresión	63
14. Ensayo de tensión	64
15. Prisma para ensayo con cargas aplicadas para la evaluación de adherencia entre mortero-unidad de mampostería.....	65
16. Ensayo de adherencia entre mortero-unidad de mampostería.....	67
17. Ensayo resistencia a la compresión efectuado a prismas de mampostería.....	68
18. Ensayo de corte efectuado a los prismas de mampostería	69
19. Comportamiento ensayo de flujo efectuado a los diseños propuestos	72

20. Comportamiento ensayo de trabajabilidad en campo a los diseños propuestos	72
21. Relación agua/cemento en los diseños propuestos	73
22. Comportamiento ensayo de retención de agua efectuado a los diseños propuestos	74
23. Comportamiento ensayo de masa unitaria efectuado a los diseños propuestos	76
24. Tiempos de fraguado inicial y final de los diseños propuestos.....	77
25. Gráfica comparativa tiempos de fraguados inicial y final en los diseños propuestos	77
26. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 1	78
27. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 1N	79
28. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 5N	80
29. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 4.....	81
30. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 5.....	82
31. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 1	84
32. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 1N	85
33. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 5N	86
34. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 4	87
35. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 5	88
36. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo de los cinco diseños propuestos.....	89
37. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 1	90
38. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 1N	91

39. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 5N.....	92
40. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 4	93
41. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 5	94
42. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo de los cinco diseños propuestos	95
43. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la adherencia mortero- unidad efectuado a los diseños propuestos elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	96
44. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la adherencia mortero- unidad efectuado a los diseños propuestos elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	97
45. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la compresión de muros elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	98
46. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la compresión de muros elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	99
47. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a esfuerzos cortantes en muros elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	100
48. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a esfuerzos cortantes en muros elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	101
49. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	102
50. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	103
51. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	104

52. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	105
53. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros propuestos con cemento UGC	115
54. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros propuestos con cemento pegablock	116
55. Informe de la sección de estructuras, hoja 1/4. Generalidades y ensayos realizados	117
56. Informe de la sección de estructuras, hoja 2/4: Descripción de las proporciones a usar	118
57. Informe de la sección de estructuras, hoja 3/4. Análisis de resultados esfuerzos cortantes y de compresión.....	119
58. Informe de la sección de estructuras, hoja 4/4. Análisis de resultados esfuerzo de adherencia.....	120

TABLAS

I. Requisitos de la composición química del agua	10
II. Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria	14
III. Clasificación, designación y uso de los ladrillos de barro cocido, norma Coguanor NGO 41022.....	38
IV. Resistencia mínima a la compresión para cualquiera de los tres tipos de bloques huecos de hormigón, norma Coguanor NGO 41054.....	39
V. Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido, Norma Coguanor NGO 410022	39

VI.	Máxima absorción de agua para bloques huecos de hormigón de clase A, es decir, destinados a soportar cargas, norma Coguanor NGO 41054.....	40
VII.	Requisitos físicos de ladrillo de barro cocido, norma Coguanor NGO 41022.....	40
VIII.	Medidas principales nominales de los bloques huecos de hormigón, norma Coguanor NGO 41 054	41
IX.	Clasificación de bloques de concreto, según estudio CII/USAC	41
X.	Resistencia a la compresión de rocas naturales	42
XI.	Propiedades mecánicas de mampostería de roca natural	45
XII.	Proporcionamiento y resistencia de diseño a la compresión de diversos tipos de morteros (teórica)	48
XIII.	Valores indicativos de resistencia f'_m de diseño a compresión de algunas mamposterías.....	48
XIV.	Valores indicativos de resistencia de diseño f'_m para piezas de barro cocido	49
XV.	Valores indicativos de resistencia de diseño a compresión diagonal v'_m para algunos tipos de mampostería.....	49
XVI.	Especificaciones de los morteros por propiedad.....	52
XVII.	Masa de los materiales del mortero	52
XVIII.	Guía para seleccionar morteros de mampostería	54
XIX.	Diseños propuestos para unión de bloques de mampostería	56
XX.	Resultados ensayo de flujo y trabajabilidad de morteros efectuados a los diseños propuestos	71
XXI.	Resultados ensayo de retención de agua efectuado a los diseños propuestos	74
XXII.	Resultados ensayo de masa unitaria efectuado a los diseños propuestos	75

XXIII.	Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 1	78
XXIV.	Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 1N.....	79
XXV.	Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 5N.....	80
XXVI.	Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 4	81
XXVII.	Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 5	82
XXVIII.	Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuadas al diseño 1	84
XXIX.	Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuados al diseño 1N	85
XXX.	Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuados al diseño 5N	86
XXXI.	Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuados al diseño 4	87
XXXII.	Resultados ensayo de compresión a 3 edades convenidas efectuados al diseño 5	88
XXXIII.	Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 1	90
XXXIV.	Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 1N	91
XXXV.	Resultado ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 5N	92
XXXVI.	Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 4.....	93

XXXVII.	Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 5	94
XXXVIII.	Resistencia de adherencia en muros elaborados con los diseños propuestos	96
XXXIX.	Resistencia a la compresión en muros elaborados con los diseños propuestos	98
XL.	Resistencia a esfuerzos cortante en muros elaborados con los diseños propuestos	100
XLI.	Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	102
XLII.	Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	103
XLIII.	Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm ²	104
XLIV.	Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm ²	105

GLOSARIO

Adherencia	Adhesión y enlace entre los morteros de pega y de inyección con las unidades de mampostería, el refuerzo y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
Álcalis	Nombre dado a los óxidos metálicos del cemento que al ser solubles en el agua pueden actuar como bases enérgicas.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales)
Curado	Período en el cual un elemento gana resistencia.
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas
Espécimen	Unidad, o parte de esta, o porción de mortero que hacen parte de la muestra y que se somete a ensayo.
Flujo	Propiedad de un mortero, medida en un laboratorio, que indica el porcentaje de incremento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se coloca sobre una mesa de flujo, la cual se levanta mecánicamente y se deja caer un número de veces determinado, bajo condiciones específicas.

Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.
Grout	Es una mezcla de material cementante, agregados, agua, con o sin admixturas, producido para proporcionar una consistencia sin segregación, asentamiento entre 8 a 10 pulgadas.
Prismas	Elementos de mampostería contruidos con bloques de concreto que simulan secciones de muros.
Sílice	Elemento que 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 un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación trata de la creación de un informe con las dosificaciones de materiales para muros con elementos de mampostería de bloques de hormigón, para lo cual se presentan diversos capítulos en donde se describe el fundamento teórico y los ensayos realizados que sirven para el análisis de resultados y datos finales. A continuación se da una breve descripción de cada capítulo para un mejor entendimiento.

En el capítulo 1 se hace referencia de lo que es el diseño de estructuras en mampostería, para que el lector tenga una idea sobre lo que es este tema y todo lo que abarca, así como sus aplicaciones más comunes en nuestro medio, además de conocer un poco de los orígenes de la mampostería, la situación actual en el ramo de la construcción y las proyecciones de este sistema constructivo a futuro.

En los capítulos 2 y 3, se observan las características de los materiales utilizados en morteros para la unión de elementos mampuestos, describiendo los componentes usados en su elaboración y una descripción de las propiedades mecánicas de las mezclas de mortero, tanto en estado plástico como en estado endurecido. Por otro lado, se describe las características y propiedades de los elementos de mampostería utilizados para la construcción de muros con elementos mampuestos. Específicamente, se hace referencia de los bloques de hormigón, ladrillos de barro cocido y rocas naturales, por ser los materiales más utilizados en nuestro medio, aunque para fines del desarrollo experimental, solo se haya trabajado con los bloques de hormigón para el diseño de los morteros a estudiar, enfocando en el capítulo 4 las propiedades

mecánicas de la mampostería en su conjunto, éstas son orientadas específicamente hacia los muros construidos con los elementos de mampostería mencionados en el capítulo anterior, describiendo como son evaluadas y analizadas cuando se someten a cargas de servicio.

El capítulo 5 describe los valores indicativos en el diseño de morteros para uso en muros con mampostería, donde se ilustran diversas tablas con proporcionamientos y resistencias teóricas de diseño para morteros de mampostería, medidas nominales y clasificación de los elementos de mampostería, de acuerdo a su resistencia a la compresión, así como las normativas que deben cumplir los materiales a utilizar, para la elaboración de morteros de mampostería.

El capítulo 6 describe un proceso más completo, de cómo se van elaborando y recopilando los datos de los ensayos realizados, a las proporciones de diseño propuestas y teóricas, para evaluar las propiedades de los morteros descritas en el capítulo 2, determinando, que tan idealizadas trabajan, al momento de actuar en conjunto en muros de mampostería, teniendo por último el capítulo 7, donde se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el capítulo anterior, tabulando los datos para la elaboración de las tablas y gráficas, que permiten interpretar el comportamiento de los diseños propuestos, así como proponer las relaciones de reducción de esfuerzos para el diseño de morteros.

OBJETIVOS

GENERAL:

Proponer dosificaciones de morteros con cementos hidráulicos, para la construcción de muros con elementos de mampostería, cuyas características logren que los mismos trabajen de una manera idealizada, al ser sometidos a cargas de servicio.

ESPECÍFICOS:

1. Describir los elementos de mampostería utilizados en nuestro medio, así como sus características y propiedades.
2. Identificar cuáles son las características y propiedades de los materiales utilizados en la elaboración de morteros de mampostería, así como también las características y propiedades del producto final, tanto en estado plástico como en estado endurecido.
3. Evaluar por medio de ensayos de laboratorio, las propiedades de los morteros y de los muros de mampostería, de acuerdo a las dosificaciones más utilizadas en campo con base a tablas de proporciones teóricas, analizando los resultados obtenidos.
4. Proponer factores que permitan, en función de la resistencia a la compresión de bloques de morteros, identificar qué proporción debe usarse al momento de construir muros con elementos de mampostería.

INTRODUCCIÓN

Los muros de mampostería se conocen como uno de los elementos constructivos utilizados desde la antigüedad por egipcios, mayas y otras colonias para la construcción de sus templos y grandes edificaciones que en la actualidad siguen en pie, al igual que las primeras viviendas construidas por el hombre moderno, lo que demuestra que este es una variable constructiva eficiente, durable y confiable para la ejecución de toda obra civil.

El diseño de muros de mampostería tiene como finalidad, buscar una falla idealizada de éstos al momento de ser sometidos a fuerzas de compresión y corte para tener construcciones más seguras, pero para que esto pueda lograrse, es necesario una serie de análisis y suposiciones de diseño que deben elaborarse en función de los diferentes factores que afectarán el muro, tomando en consideración aspectos como la calidad de los materiales que se usarán para la elaboración del mortero, el tipo de elemento de mampostería que se utilizará y la calidad de éste, de acuerdo a sus características y propiedades. Debe mencionarse también que los muros de mampostería poseen diversidad de usos, desde cimientos, muros perimetrales, divisiones de ambientes, entre otros.

El estudio planteado a continuación, consiste en la elaboración de una investigación teórico-práctica sobre las dosificaciones de materiales óptimas en la fabricación de morteros utilizando cementos hidráulicos, con una resistencia que nos brinde las condiciones óptimas para la unión de bloques mampuestos, y con la información recopilada en estos estudios, crear un informe el cual pueda ser usado como referencia para conocer los factores de resistencia del

mortero con respecto al muro de mampostería y las dosificaciones de materiales a usar en los diferentes morteros de acuerdo al cemento utilizado, la adherencia que posee el elemento con el mortero y las condiciones a las que serán sometidos los muros a construir.

Para el efecto, se desarrollarán investigaciones bibliográficas para definir el marco teórico, que consiste en las características y propiedades físicas y mecánicas de los diferentes elementos de mampostería materiales para la fabricación de morteros y los muros de mampostería en conjunto, procediendo después con el desarrollo experimental, elaborando dosificaciones de acuerdo a las proporciones más usadas en nuestro medio, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas de los diseños propuestos. Luego se construirán muros de mampostería para poder ensayar estos en conjunto, observando el comportamiento de las dosificaciones, al momento de actuar con los bloques de mampostería, evaluando sus resultados y proponiendo relaciones de reducción de esfuerzos tanto en cortante, como de compresión, realizando las recomendaciones que sean necesarias para ampliar y tomar las consideraciones sobre este tema.

El estudio de las dosificaciones de materiales para la construcción de muros de mampostería, ayudará para que al momento de realizar morteros en campo, éstos puedan elaborarse con una mejor calidad y evitar que los muros puedan presentar grietas prematuras en los bloques o el cizado que repercute en un resultado poco estético en el muro y genera concentraciones de esfuerzos que pueden generar fallas a la hora de que este sea sometido a cargas de servicio.

1. DESCRIPCIÓN INTRODUCTORIA SOBRE EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS EN MAMPOSTERÍA.

Se define como mampostería al conjunto de elementos pétreos naturales o artificiales llamados piezas, unidos o enlazados por medio de un mortero con el fin de formar una estructura resistente.

A pesar que el empleo de este material es muy amplio en las edificaciones que se construyen en el país, la metodología que se utiliza y se recomienda en las normas establecidas es simple, es decir, se emplean factores de seguridad altos que en muchas ocasiones no reflejan el comportamiento real de la mampostería.

Es probable que la mampostería se construya en condiciones de control poco rígidas, haya generado que no se tenga conocimientos suficientemente profundos que permitan encontrar métodos de diseño más adecuados. Sin embargo, en otros países cada día se desarrollan investigaciones que van reafirmando estos conocimientos y por ende mejoran la metodología para realizar diseños óptimos.

En la actualidad, la mampostería se emplea en la construcción de viviendas tanto unifamiliares como multifamiliares, aprovechando los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros hidráulicos. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables, cabe mencionar que las estructuras más altas en este material,

se encuentran en el orden de cinco niveles, aunque existan algunos casos de mayor altura.

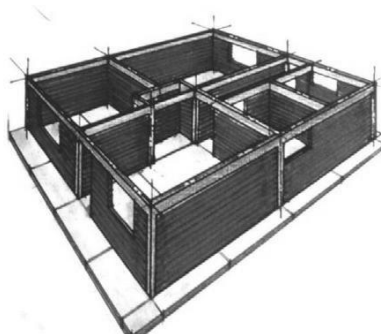
Figura 1. Edificio multifamiliar en mampostería reforzada



Fuente: José Oscar Jaramillo. Ingeniería estructural I. Pág. 47

La mampostería puede ser de rocas naturales, como las areniscas, los basaltos, el granito, el mármol, etc. Siendo su presentación diversa, por ejemplo: al natural, en el caso de rocas o en forma de tabiques y bloques, tanto macizos, como huecos en el caso de la arcilla y el concreto, lo cual, demuestra las diversas alternativas que corresponde a los tipos de piezas de mampostería, permitiendo la realización tanto de elementos estructurales, como de no estructurales, es decir, elementos de fachada, divisorios, columnas, soleras, etc.

Figura 2. Esquema estructural de casa unifamiliar en mampostería confinada



Fuente: José Oscar Jaramillo. Ingeniería estructural I. Pág. 47

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS EN MORTEROS PARA LA UNIÓN DE ELEMENTOS MAMPUESTOS

Siendo el mortero la mezcla de un material aglomerante (cemento hidráulico y/u otros cementantes), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y eventualmente aditivos, que sirven para unir las rocas, bloques o ladrillos que integran las obras de campo y para revestirlos con enlucidos o revoques. Este material presenta diversas especificaciones de sus componentes que se deben cumplir, las cuales se presentan a continuación.

2.1 Tipos de cementos.

La palabra cemento describe a un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un conglomerado 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 y resinas sintéticas.

Según Adam N. Neville, “el cemento puede definirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar todo un compacto”, aunque a esta definición puede agregársele que tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de reacciones químicas durante la hidratación y que al endurecer, conservará su resistencia y estabilidad.

El cemento hidráulico se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, y por alumina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. Debido a la diversa gama de cementos disponibles en nuestro medio, es importante distinguir los de uso general y los de uso especial. La diferencia está en función de la resistencia mecánica desarrollada y la durabilidad que presenta cada uno con respecto al tiempo y los diferentes agentes agresivos.

Desde el punto de vista económico siempre es recomendable optar por un cemento de uso general, a menos que se determine alguno de uso especial, debido a los requerimientos del cálculo estructural o por un proceso constructivo más específico en el manejo del concreto. Es por ello que para conocer su correcta identificación y darle un uso óptimo de acuerdo a sus características y componentes, los cementos son clasificados de la siguiente manera:

- A. Tipo I:** Es el destinado a obras de ingeniería en general, donde no se requieren propiedades especiales, se produce por la adición de clinker más yeso. De 1 a 28 días realiza del 1 al 100% de su resistencia relativa.
- B. Tipo IA:** Posee las mismas características y propiedades que el cemento tipo I, pero este contiene inclusores de aire.
- C. Tipo II:** Destinado para obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras donde se requiere moderado calor de hidratación, el cemento Tipo II adquiere resistencia más lentamente que el Tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia. Las características de este Tipo de cemento se C3A) y el Silicato Tricálcico (C3S) del cemento. Se utiliza en

alcantarillados, tubos, zonas industriales. realiza del 75 al 100% de su resistencia.

D. Tipo IIA: Este es un cemento con las mismas características y propiedades que el cemento II pero con inclusores de aire adicionados a su composición.

E. Tipo III: Cemento que desarrolla altas resistencias iniciales, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El concreto hecho con el cemento Tipo III desarrolla una resistencia en tres días, igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con cementos Tipo I y Tipo II ; se debe saber que el cemento Tipo III aumenta la resistencia inicial por encima de lo normal, luego se va normalizando hasta alcanzar la resistencia normal. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de C3S y C3A en el cemento, al molerlo más fino; las especificaciones no exigen un mínimo de finura pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas que una cantidad mínima de humedad prehidrata el cemento durante el almacenamiento y/o transporte. Dado a que tiene un gran desprendimiento de calor, el cemento Tipo III no se debe usar en grandes volúmenes. Con 15% de C3A presenta una mala resistencia al sulfato. El contenido de C3A puede limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada al sulfato o al 15% cuando se requiera alta resistencia al mismo, su resistencia es del 90 al 100%.

F. Tipo IIIA: Tiene los mismos usos que el cemento tipo III, con aire incluido.

G. Tipos IV: Es el que desarrolla bajo calor de hidratación, se ha perfeccionado para usarse en concretos masivos. El bajo calor de

hidratación de Tipo IV se logra limitando los compuestos que más influyen en la formación de calor por hidratación, o sea, C3A y C3S. Dado que estos compuestos también producen la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana logran al imponer modificaciones en el contenido de Aluminato Tricálcico resistencia con lentitud. El calor de hidratación del cemento Tipo IV suele ser aproximadamente del 80% del Tipo II, el 65% del Tipo I y 55% del Tipo III; durante la primera semana de hidratación. Los porcentajes son un poco mayores después de más o menos un año. Es utilizado en grandes obras, moles de concreto, en presas o túneles. Su resistencia relativa de 1 a 28 días es de 55 a 75%.

Figura 3. Aplicaciones de los tipos de cemento



Fuentes: Boulevard "Alameda Norte" Fase III Condado Naranjo, Condominio "San Daniel" Condado Naranjo y puerto de San José. 2,009

H. Tipo V: Ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar. La resistencia al sulfato del cemento Tipo V se logra minimizando el contenido de C3A, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por el sulfato. Realiza su resistencia relativa del 65 al 85 %.

2.2 Características de los agregados

Los agregados finos llamados arenas o áridos, son todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás constituyentes del mortero, especialmente con el cemento; sin embargo, hay algunos cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas, colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica característica del mortero, tales como las escorias de alto horno, los materiales de origen volcánico en que hay sílice activo, y el ladrillo triturado, entre otros.

Pero otros que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del mortero y su durabilidad, como por ejemplo los que presentan compuestos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellos que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

2.2.1 Tipos de agregados

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

- a. **Agregados naturales:** son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y rocas naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos

mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.

- b. Agregados artificiales:** estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Por lo general son más ligeros o pesados que los ordinarios.

2.2.2 Propiedades de los agregados

La norma que especifica las propiedades de los agregados es la ASTM C144-03 *“Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar”* (Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería). Las propiedades a cumplir con dicha norma son:

- a.** El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien gradado. Su selección depende de la disponibilidad de él en la zona (depósitos aluviales, de cantera, etc.), costo de explotación y transporte y de su eventual comportamiento en el mortero en cuanto a consistencia, resistencia y tamaños existentes representados en el módulo de finura.
- b.** De la graduación del agregado depende en un alto porcentaje la trabajabilidad y la 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.

- c. Por lo general las arenas naturales (depósitos, sedimentarios, ríos, etc.) producen morteros de resistencias más altas que las de cantera, obtenidas por medio de voladura, o por trituración, siendo este efecto más notorio en morteros pobres de cemento.

2.3 Características del agua.

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

El agua es el líquido que está presente de manera importante en la elaboración de concretos y/o morteros, mezclas, en el lavado de agregados, curado y riego de concreto; por consiguiente debe ser un insumo limpio, libre de aceite, ácidos, álcalis, sales y, en general de cualquier material que pueda ser perjudicial, según el caso para el que se utilice.

El agua puede ser clasificada en agua de mezclado y agua de curado.

2.3.1 Agua de mezclado

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico.

De ahí, que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla.

2.3.2 Agua de curado

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro para hidratar eficientemente el cemento.

Tabla I. Requisitos de la composición química del agua

USO	CONTENIDO ORGÁNICO Y CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Agua para elaborar concreto y mezclas	Sulfatos convertidos a (Na_2SO_4)	300 ppm
	Cloruros Convertidos a (NaCl) MAX	300 ppm
	Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	10 ppm
	Sólidos totales en solución	1500 ppm
	Sólidos totales en suspensión	2000 ppm
	Turbidez máxima	1500 ppm
	PH no menor a	7
Agua para curado de concreto y lavado de agregados	Sulfatos convertidos a (Na_2SO_4)	1500 ppm
	Cloruros convertidos a (NaCl) MAX	2000 ppm
Agua usada para riego	Sulfatos convertidos a (Na_2SO_4)	400 ppm
	Cloruros convertidos a (NaCl) MAX	500 ppm
Agua usada en compactación	Debe ser incolora, no debe contener sólidos orgánicos en suspensión visibles y no debe usarse agua estancada	

Fuente: José Luis García. Manual técnico de construcción. Pág. 93

Al endurecerse la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua libre. Si la cantidad de agua de mezclado se aumenta, la parte que de ella queda fija

es la misma y por consiguiente el agua libre aumenta, con lo cual aumenta la porosidad, y con este aumento de la porosidad, la pasta pierde resistencia y el mortero se hace más permeable.

Recomendaciones:

Solo en casos excepcionales, cuando no se tenga la posibilidad de efectuar el análisis de calidad del agua o aún después de haber realizado las pruebas y cuyos resultados no han sido satisfactorios y que por circunstancias económicas sea incosteable o muy impactante en los costos directos de la obra, se puede usar agua de otra fuente que sea aprobada después del muestreo. Las pruebas se deberán realizar usando cilindros de concreto elaborados de la misma manera, con los mismos insumos, las mismas características (agregados, cemento, proporcionamiento, proceso de mezclado, curado, etc.) con los dos tipos de agua: la inaceptable y la de fuente deseable. Los resultados de estas pruebas se compararán entre sí. La resistencia obtenida en los cilindros de concreto fabricado con el agua dudosa no debe ser menor que el 90% de la resistencia obtenida con los otros cilindros de concreto fabricado con el agua adecuada.

El agua es un insumo que interviene de manera importante en la elaboración de morteros, lechadas, concretos y otras actividades. Por tal motivo, su medición debe ser calculada en cada uno de los procesos en los que deba ser utilizada.

2.4 Propiedades mecánicas de los morteros.

Los morteros empleados en la unión de piezas de mampostería, resultan de la mezcla de arena y agua con un material cementante (cemento, cal, y cemento de albañilería).

Las propiedades del mortero que más influyen en el comportamiento estructural de los elementos de mampostería, son deformabilidad y adherencia con las piezas; así mismo, de la deformabilidad depende en gran medida las deformaciones totales del elemento y en parte su resistencia a carga vertical.

Recomendaciones

- Su resistencia en compresión no será menor de 40 kg/cm²
- La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3.
- Se empleará la mínima cantidad de agua, que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

2.4.1 Propiedades en estado plástico:

Cuando los morteros se encuentran en estado manipulable, estos presentan ciertas características que definen su comportamiento e influyen en cómo reaccionará en estado endurecido.

2.4.1.1 Trabajabilidad:

Mide la facilidad de colocación de mezcla en las unidades de mampostería o en revestimientos, está relacionada con la consistencia, la cual se refiere al estado de fluidez del mortero, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico.

En general, se acepta como medida de la trabajabilidad, la característica de fluidez de la mezcla medida en la prueba de laboratorio ASTM C230-03

“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); mientras que la prueba en campo se realiza según la norma ASTM C333-03

2.4.1.2 Retención de agua

Mide 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 actualmente se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias, como el uso de aditivos plastificantes y agentes inclusores de aire.

La retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia final a la compresión del mortero, por ejemplo, una mezcla incapaz de retener agua no permite la hidratación del cemento, así como el desarrollo de adherencia.

2.4.1.3 Velocidad de endurecimiento

Los tiempos de fraguado inicial y final del cemento de la mezcla deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, éstos dependen de diversos factores tales como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra y hoy en día son fácilmente controlables con el uso de aditivos.

2.4.1.4 Contenido de aire

El aire incluido en un mortero, puede producirse por efectos mecánicos o por medio de la aplicación de aditivos incorporadores de aire. A medida que aumenta el contenido en aire (12-18%, según ASTM C-270), mejora

la trabajabilidad y la resistencia a los ciclos hielo-deshielo, de forma contraria, disminuye la resistencia mecánica, la adherencia y la impermeabilidad. Existen varios antecedentes para probar que la adherencia disminuye cuando aumenta el contenido de aire.

2.4.1.5 Masa unitaria

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

En la tabla II, se muestra la clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria.

Tabla II. Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria

TIPO DE MORTERO	MASA UNITARIA (kg/m³)
Liviano	1,400 - 1,600
Mediano	1,600 - 1,850
Pesado	1,850 - 2,200

Fuente: Carlos Saba. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Pág. 32

2.4.2 Propiedades en estado endurecido

2.4.2.1 Retracción

Se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en pastas con una alta relación agua-cemento. El agregado soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de muchos vientos, el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos.

2.4.2.2 Adherencia

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

En el caso de la mampostería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea tan rugosa como sea posible para

permitir la unión mecánica del mortero, así como un porcentaje de absorción proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros plásticos, de buena adherencia, buena capacidad de retención de agua y que no requieran de superficies húmedas para su colocación, son los más adaptables y de mayor utilización en mampostería ya que permiten una íntima unión entre las piezas.

La mayor parte de los estudios de adherencia de morteros son hechos en especímenes almacenados al aire, pero esta condición no permite una hidratación normal del cemento, que es necesaria para garantizar una correcta adherencia entre las unidades de mampostería y el mortero. Sin curado húmedo los morteros con el contenido de humedad mayor, logran un curado mejor y alcanzan mayor resistencia a la adherencia. Los ensayos en especímenes almacenados al aire favorecen a los morteros que contienen cal porque ésta retiene mayor cantidad de agua.

2.4.2.3 Resistencia a la compresión

Una vez aplicado en obra, el mortero debe actuar como unión resistente. Se requiere una alta resistencia a la compresión cuando el mortero deba soportar cargas altas y sucesivas. Siendo éstas un indicio de las resistencias a tensiones de corte y a tensiones de tracción.

Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de agregado, la primera dice: “con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero”; y la segunda: “con el mismo porcentaje de

cemento en volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquél que tenga la mayor densidad, o sea aquél que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos”.

2.4.2.4 Durabilidad

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

2.4.2.5 Permeabilidad

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

2.4.2.6 Eflorescencia

La eflorescencia es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared y la cristalización de las sales solubles. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto

de con ella, se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia.

2.4.2.7 Apariencia

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

2.5 Tipos y usos de los morteros

2.5.1 Tipos

2.5.1.1 Morteros de cemento hidráulico

Cuando se requieren altas resistencias iniciales o resistencias elevadas del mortero, se pueden utilizar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos portland. La confección de este mortero, ha de efectuarse de un modo continuo, de manera tal que entre el mezclado y la colocación en obra haya el menor tiempo posible debido a lo rápido del fraguado del cemento. Por ello se acostumbra a mezclar en obra, primero el cemento y la arena y luego se añade el agua. Desde luego, la cantidad de cemento no puede disminuir mucho, ya que si la mezcla es muy pobre en aglomerante, ésta se hace áspera e intrabajable porque las partículas de arena rozarán entre sí, al no existir la pasta lubricante de cemento.

2.5.1.2 Morteros de cal

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

Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal dolomítica (cal gris). La arena en este caso en realidad constituye un material inerte cuyo objetivo principal es evitar el agrietamiento y contracción del mortero, para lo cual se recomienda que tenga partículas angulosas y esté libre de materia orgánica, rocas grandes, polvo y arcilla.

Las proporciones cal-arena más usadas en morteros aéreos son 1:2 para acabados y 1:3 ó 1:4 para morteros de levantado. Si la proporción aumenta, el mortero es más magro pierde ductilidad y trabajabilidad; y si el mortero es más graso, pueden ocurrir contracciones y agrietamientos no deseables.

2.5.1.3 Morteros de cal y cemento hidráulico

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

La cantidad de agua se encuentra dentro de amplios límites, de acuerdo con la composición del mortero y la consistencia deseados.

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

2.5.2 Usos

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

2.6 Morteros utilizados en Guatemala

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

2.6.1 Elaborados en obra

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

2.6.2 Pre-mezclados

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

Del mismo modo que el concreto premezclado, este mortero es dosificado y mezclado en una planta y es llevado a la obra en un camión

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

2.6.3 Pre-dosificados

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

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

3. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA.

3.1 Características de los diferentes elementos de mampostería:

A continuación se mencionarán algunas características típicas de las diferentes mamposterías comunes con la intención de conocer a fondo sus propiedades.

Después del adobe, la roca es el material natural más empleado de todos los utilizados en la construcción. Es razonable suponer que en aquellas áreas donde existían construcciones de roca, los hogares del hombre primitivo eran meros amontonamientos de rocas. Por otro lado, el descubrimiento de materiales cementantes naturales le permitió al hombre construir paredes que podían ser a la vez más delgadas, más altas y más sólidas.

En el caso de la construcción a base de adobe, usada durante siglos para crear paredes, suelos y tejados, la roca se adquiere con facilidad, ya que se encuentra en lechos de ríos, en minas, canteras y campo abierto, siendo poco factible en el medio, que una región no contenga una cantidad de roca que pueda ser usada para la construcción.

Actualmente, se explota muy poco la construcción a base de roca. Tal vez se deba a que la construcción de roca es similar a la de adobe, siendo esta última más económica, dejándose la roca para cimientos, bardas y muros pequeños.

Existe poca información acerca de la tecnología de albañilería de roca; quizá porque ha sido tradicionalmente guardada como secreto. A lo largo de los siglos los albañiles que trabajan con roca han conseguido mantener en la industria de la construcción un estatus respetable, permaneciendo los secretos de su oficio.

Por otro lado, es obvio que a menor procesamiento de un material, menor el costo del elemento estructural. La tecnología moderna de construcción ha producido algunos materiales como tabiques y bloques tanto de adobe como de concreto. Además debe mencionarse que como dato curioso, se ha encontrado que los tabiques o ladrillos son el material de construcción más adecuado para satisfacer las necesidades de vivienda, ya que su tamaño pequeño presenta gran adaptabilidad a prácticamente cualquier diseño.

En la actualidad persiste el método antiguo y lento de superposición de tabiques, sin embargo, su utilización es amplia, por lo que la calidad de la construcción por un lado depende del trabajo del obrero, y de la efectividad de las uniones entre el mortero y los tabiques.

La clave para una colocación correcta de las piezas es que estas contengan la cantidad adecuada de agua para favorecer al fenómeno capilar que da origen a la trabazón mecánica entre las piezas, ya que estas son muy absorbentes y si se colocan excesivamente secas absorberán el agua del mortero antes de que se realice la unión entre ambos; por otro lado, si se colocan excesivamente húmedas, se inhibirá la entrada de lechada del mortero en los poros capilares de las piezas, afectándose de este modo la trabazón mencionada.

A continuación se presentan cuales son los elementos de mampostería más utilizados en nuestro medio describiendo su proceso de fabricación, así como sus propiedades físicas y mecánicas.

3.1.1 Elementos de mampostería fabricados en el medio.

3.1.1.1 Bloques de hormigón

Un bloque de hormigón (o “block”, como es comúnmente llamado en nuestro medio) es un mampuesto prefabricado, elaborado con hormigones finos o morteros de cemento, utilizado en la construcción de muros y paredes.

En general, se emplea como sustituto del ladrillo en debido a que es más económico y proporciona un mayor avance en los levantados de muros en obra. En Guatemala, es un material de uso común en la mayoría de construcciones en el interior de la república y en algunos lugares del área metropolitana.

Los bloques tienen forma prismática, con dimensiones normalizadas, y suelen ser esencialmente huecos. Sus dimensiones habituales en centímetros son 10 cms x 20 cms x 40 cms, 20 cms x 20 cms x 40 cms y 15 cms x 20 cms x 40 cms respectivamente.

- **Proceso de fabricación:**

Los bloques se fabrican vertiendo una mezcla de cemento, arena y agregados pétreos (normalmente calizos) en moldes metálicos, donde sufren un proceso de vibrado para compactar el material. Es habitual el uso de aditivos en la mezcla para modificar sus propiedades de resistencia, textura o color.

- **Tipos:**

Al ser un material prefabricado, pueden existir tantos modelos de bloque de hormigón como fabricantes existan en el mercado. Se enumeran aquí las tipologías más representativas:

De gafa: son el modelo más común. Deben ser posteriormente revestidos con algún tratamiento superficial (normalmente enlucidos en paramentos interiores, y enfoscados en los exteriores). También se emplean con los huecos en horizontal, para crear celosías que no impidan totalmente la visión o el paso de aire con el exterior.

Multicámara: sus huecos internos están compartimentados. Estos bloques se utilizan frecuentemente cuando se pretende construir una pared de una sola hoja. Las divisiones internas aíslan el aire en distintas cámaras, por lo que aumentan el aislamiento de la pared. Son similares en concepto a los bloques de termoarcilla.

De carga: son más macizos, y se emplean cuando el muro tiene funciones estructurales (esto es: cuando soporta el forjado superior)

Armados: diseñados como encofrado perdido de muros macizos de hormigón. Presentan rebajes interiores para apoyar las armaduras de acero.

Cara vista: son bloques con al menos una de las caras especialmente preparadas para no precisar revestimiento.

En “U”: se emplean como zunchos para cubrir cantos de forjado, o para crear dinteles.

Figura 4. Palet de bloques de hormigón



Fuente: Condado Naranjo condominio "San Fermín". 2,009

Este tipo de material para la construcción es cada día más utilizado; como ya se mencionó, se compone generalmente de un concreto a base de cemento portland, arena o gravilla fina y también de mortero de cemento y arena, según sea el espesor y finura de la roca que se quiera.

La calidad de una roca artificial depende de los materiales que lo conforman y tiene tantas aplicaciones como se requiera. En la actualidad se utiliza para la fabricación de bloques de construcción de muros o como elementos decorativos o de división.

Los bloques de concreto, por lo común son de dimensiones mayores que las de los ladrillos cerámicos, pueden ser macizos o huecos y su fabricación puede ser a mano o con máquinas. Dependiendo del fabricante es posible encontrar una gran gama de tamaños y formas, tanto en piezas huecas como macizas.

3.1.1.2 Ladrillos de barro cocido:

Un ladrillo es una pieza cerámica, generalmente ortoédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, cuyas dimensiones suelen ser aproximadamente 24 x 11,5 x 6 cm. Se emplea en albañilería para la construcción de muros, tabiques, tabicones, etc.

Los ladrillos y/o tabiques de barro cocido se clasifican entre los materiales que se obtienen mediante la cocción de arcillas naturales previamente moldeadas o materiales cerámicos extruidos.

El arte de la cerámica es una de las actividades más antiguas del mundo, nació con la elaboración de diversos objetos de arcilla, como recipientes, piezas de ornato. Así con el paso del tiempo surgieron los materiales de construcción ofreciendo grandes ventajas.

Dentro de los productos utilizados en la construcción, se tiene como uno de los más antiguos la pasta de arcilla mezclada con arena y paja secada simplemente al sol y que en la actualidad se le conoce como adobe y otro que es la mezcla con agua o varias clases de arcilla sometidas después al fuego. Las arcillas utilizadas para la fabricación de productos cerámicos pertenecen a dos grandes grupos: arcillas micáceas y arcillas caolíticas, que son más puras. Con frecuencia se añaden a las arcillas otros materiales que mejoran el producto como son: desengrasantes como la arena cuarzosa, cuarcita, bauxita y fundentes como alquitrán, grafito y colorantes.

El tabique es toda pieza destinada a la construcción de muros, por lo general es de forma ortoédrica, fabricado por la cocción de la arcilla y otros

materiales. En la actualidad existen tabiques macizos y huecos con diferentes tipos de diseños que dependen del fabricante.

- **Reseña histórica sobre el uso del ladrillo**

El uso del ladrillo como elemento constructivo, se conoce desde la antigüedad. Así, la palabra actual que se emplea para designar el adobe proviene del término egipcio dbt "ladrillo de barro crudo". La materia prima para la conformación y elaboración de ladrillos es la arcilla.

- **Los ladrillos como elementos constructivos:**

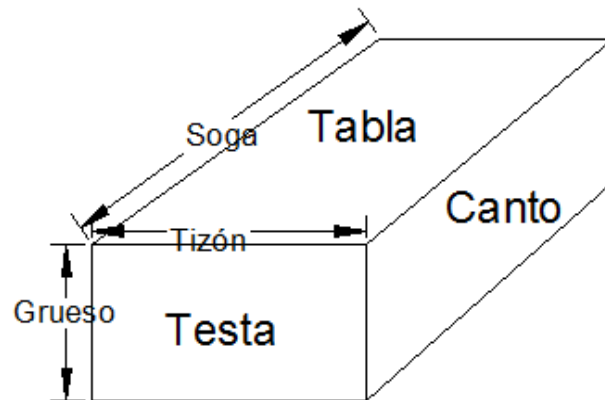
La arcilla con la que se elabora los ladrillos es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita. Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas.

- **Geometría:**

Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de *soga*, *tizón* y *grueso*, siendo la *soga* su dimensión mayor. Así mismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de *tabla*, *canto* y *testa* (la *tabla* es la mayor). Por lo general, la *soga* es del doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos tizones más una junta, lo que permite combinarlos libremente. El *grueso*, por el contrario, puede no estar modulado.

Existen diferentes formatos de ladrillos, por lo general de un tamaño que permita manejarlo con una mano. En particular, destacan el formato *métrico*, en el que las dimensiones son 24 x 11,5 x 5,25 / 7 / 3,5 cm (nótese que cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor más 1 cm de junta) y el formato *atalán* de dimensiones 29 x 14 x 5,2 / 7,5 / 6 cm y los más normalizados que miden 25 x 12 x 5 cm. Actualmente también se utilizan por su gran demanda dado su reducido coste en obra, medidas de 50 x 24 x 5 cm.

Figura 5. Partes y dimensiones de un ladrillo



Fuente: José Oscar Jaramillo. Ingeniería estructural I. Pág. 76

- **Tipos de ladrillo:**

Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

Ladrillo perforado, que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10% de la superficie de la misma. Muy popular para la ejecución de fachadas de ladrillo visto.

Ladrillo macizo, aquellos con menos de un 10% de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.

Ladrillo tejar o manual, simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.

Ladrillo aplantillado, Un ladrillo aplantillado es aquel que tiene un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, generalmente a sardinel, forma una moldura corrida. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las rocas, y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo.

Ladrillo hueco, son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el volumen de material empleado en ellos. Son los que se usan para tabiquería que no vaya a sufrir cargas especiales. Pueden ser de varios tipos:

Rasilla: su grueso y su soga son mucho mayores que su tizón. Sus dimensiones habituales son 24x11.5x2.5

Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.

Ladrillo hueco doble: posee dos hileras de perforaciones en la testa.

Ladrillo caravista: son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.

Ladrillo refractario: se coloca en lugares donde debe aguantar gran cantidad de calor, como hornos o chimeneas.

- **Usos:**

Los ladrillos son utilizados en construcción en cerramientos, fachadas y particiones. Se utiliza principalmente para construir muros o tabiques. Aunque se pueden colocar *a hueso*, lo habitual es que se reciban con mortero. La disposición de los ladrillos en el muro se conoce como aparejo, existiendo gran variedad de ellos

- **Aparejos:**

Aparejo es la ley de traba o disposición de los ladrillos en un muro, estipulando desde las dimensiones del muro hasta los encuentros y los enjarjes, de manera que el muro suba de forma homogénea en toda la altura del edificio. Algunos tipos de aparejo son los siguientes:

Aparejo a sogas: los costados del muro se forman por las sogas del ladrillo, tiene un espesor de medio pie (el tizón) y es muy utilizado para fachadas de ladrillo cara vista.

Aparejo a tizones o a la española: en este caso los tizones forman los costados del muro y su espesor es de 1 pie (la soga). Muy utilizado en muros que soportan cargas estructurales (portantes) que pueden tener entre 12,5 cm y 24 cm colocados a media asta o soga.

Aparejo inglés: en este caso se alternan hiladas en sogas y en tizones, dando un espesor de 1 pie (la soga). Se emplea mucho para muros portantes en fachadas de ladrillo cara vista. Su traba es mejor que el muro a tizones pero su puesta en obra es más complicada y requiere mano de obra más experimentada.

Figura 6. Aparejos de ladrillos

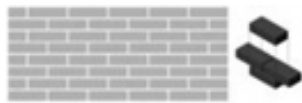


Fig. 6.1 - Aparejo a sogas

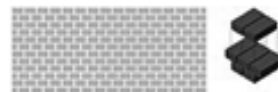


Fig. 6.2 - Aparejo a tizones



Fig. 6.3 - Aparejo inglés

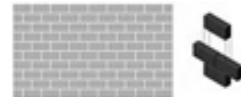


Fig. 6.4 Aparejo a panderete

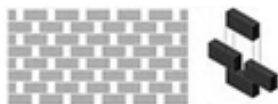


Fig. 6.5 - Aparejo palomero

Fuente: José Oscar Jaramillo. Ingeniería estructural I. Pág. 78

Aparejo en panderete: es el empleado para la ejecución de tabiques, su espesor es el del grueso de la pieza y no está preparado para absorber cargas excepto su propio peso.

Aparejo palomero: es como el aparejo en panderete pero dejando huecos entre las piezas horizontales. Se emplea en aquellos tabiques provisionales que deben dejar ventilar la estancia y en un determinado tipo de estructura de cubierta.

3.1.1.3 Rocas naturales

Al mencionar aquí a las rocas, no se hace referencia a guijarros ni a pequeños trozos de rocas, sino a bloques más o menos grandes, los cuales se emplean para construir diversos elementos estructurales como cimientos, paredes y muros de contención.

Desde el punto de vista estructural, lo que más interesa de las rocas es su peso y dureza y en ocasiones su color; este último caso cuando se habla de elementos que serán usados como decoración.

Es importante conocer las características físicas de las rocas, saber si son quebradizas o no. Dentro de este contexto se clasifican como rocas duras y blandas. En cuanto a las rocas duras, las más conocidas son los mármoles, aún cuando en esta clasificación también entran las basálticas, las areniscas, los granitos, etc., que tienen diferente uso constructivo.

Las rocas blandas se identifican con una prueba sencilla, en la cual se toma una muestra de la roca en duda y se rompe; si los trozos son redondeados la roca es blanda, si por el contrario los trozos son angulosos con ciertas aristas, la roca es dura.

La forma en que se labra la roca para su uso determina también el tipo de mampostería resultante. En la mampostería de primera, la roca se labra en forma de paralelepípedos rectangular con su cara expuesta rectangular. Este tipo de mampostería es conocida como *sillería*. En la de segunda, los paralelepípedos tienen forma variable y siguen la configuración natural (veta) del lugar de extracción. En la mampostería de tercera, la roca se ordena tal y como viene de la cantera, solo cuidando que la cara expuesta sea plana.

Las aplicaciones actuales de las rocas naturales se circunscriben únicamente a cimientos, muros de contención, muros de fachadas, bardas y chimeneas.

Existen algunas consideraciones para el empleo de rocas naturales en la fabricación de elementos estructurales. Por ejemplo:

- 1.- Deben resistir a la intemperie.
- 2.- No deben ser quebradizas.
- 3.- No deben tener grietas ni rajaduras.
- 4.- Deben tener superficie rugosa, áspera para que el mortero agarre bien.
- 5.- De preferencia que los bancos o minas de material no estén muy alejados de la obra ya que esto implicaría un mayor costo.

3.2 Propiedades mecánicas de los diferentes elementos de mampostería.

La propiedad mecánica más importante de las piezas componentes de la mampostería es la resistencia a la compresión, la cual se obtiene dividiendo la máxima fuerza que es capaz de resistir una probeta. Cuya forma depende del

material a probar, entre el área en planta de la muestra para obtener tal resistencia. Expresada en unidades de esfuerzo (kg/cm^2 , Mpa).

Otra propiedad importante es el módulo de elasticidad, cuya obtención implica el empleo de extensómetros (*strain gages*) mecánicos o eléctricos. Sin embargo, las NTC proponen diversas expresiones para obtener el módulo de elasticidad en función de la resistencia a la compresión.

A continuación se describe el procedimiento para la obtención de las propiedades mencionadas de las piezas de mampostería así como la clasificación de las mismas de acuerdo a su resistencia.

3.2.1 Propiedades mecánicas de ladrillos de barro cocido y bloques de hormigón:

3.2.1.1 Resistencia a la compresión:

Una de las propiedades importantes que se deben conocer de las piezas es la resistencia a la compresión, la cual se realiza ensayando medio ladrillo en posición horizontal y al cual se aplica una carga de compresión; esta pieza debe estar seca, y para impedir la absorción de humedad que puede alterar su resistencia, las superficies de apoyo deben pintarse con goma laca, antes de cabecearla.

La razón de utilizar solo la mitad de la pieza radica en que las piezas enteras tienen más irregularidades que pueden dar origen a una mayor dispersión de resultados en los ensayos, por lo que es mejor utilizar únicamente la mitad de la pieza.

Esta resistencia se determina sometiendo a compresión, muestras representativas de la producción de piezas, correctamente cabeceadas con azufre. El esfuerzo resistente f'_p de cada pieza se obtiene dividiendo la fuerza máxima resistida entre el área bruta (el producto del ancho por el largo de la pieza) de la superficie cargada. Las NTC para mampostería establecen que la resistencia de diseño f'_p se obtiene de los resultados de estas pruebas a partir de la siguiente expresión:

$$f'_p = \frac{\vec{f}_p}{1 + 2.5 C_p}$$

Donde:

\vec{f}_p = Media de la resistencia a compresión de las piezas. Cada valor de resistencia se obtiene dividiendo la fuerza resultante entre el área bruta de la pieza.

C_p = Coeficiente de variación de la resistencia a compresión de las piezas. Este coeficiente no se tomará menor que 0.2 para piezas industrializadas que cuenten con un control de calidad certificado, 0.30 para piezas industrializadas que no cuenten con esta certificación o 0.35 para piezas artesanales.

3.2.1.2 Absorción:

Otra propiedad fundamental es la absorción, que es la medida de la porosidad, la cual indica la posible filtración a través del ladrillo y la tendencia a su disgregación. Un ladrillo poroso es menos resistente que uno más denso. La calidad de esta pieza se logra con procesos industrializados que, desde luego, varían en las propiedades dependiendo del tipo de barro utilizado en su proceso y horneado.

La prueba de absorción consiste en secar cinco mitades de ladrillos y al enfriarse se pesan. Después se sumergen en agua con temperaturas entre 16 y 30°C durante 24 horas. Una vez transcurrido ese tiempo, las piezas se sacan y se secan con un trapo húmedo y se vuelven a pesar inmediatamente; la absorción se calcula con base en el peso de las unidades secadas por horneado.

La absorción de los ladrillos presenta variaciones que van de 1 a 25%, aunque en general, para un buen ladrillo común, esta absorción estará siempre abajo del 20%.

Es importante aclarar que las diferentes empresas que fabrican piezas tienen sus propias particularidades, es decir, las propiedades pueden ser diferentes, pero todo eso lo expresan en su material promocional.

3.2.1.3 Durabilidad:

La durabilidad tiene que ver con los cambios en las condiciones de humedad y temperatura. Esta propiedad se evalúa con una prueba de congelación-descongelación, sometidas a muchos ciclos en condiciones saturadas y varios ciclos de humedecimiento y secado. La pérdida de peso se relaciona con su resistencia, estas propiedades indican la calidad de las piezas, ya que los valores de resistencia de estas, son mayores que la de los elementos de mampostería construidas con el mismo tipo de piezas.

En el caso de bloques de concreto y tabiques extruidos las pruebas son similares a las de las piezas de barro, aunque para estos casos es preferible emplear piezas enteras, ya que los huecos que estas contienen dificultan la

realización de los ensayos. Otra dificultad para estas pruebas es que se requieren máquinas de gran capacidad.

3.2.1.4 Clasificación de las piezas de mampostería de acuerdo a sus propiedades:

Tabla III. Clasificación, designación y uso de los ladrillos de barro cocido, norma Coguanor NGO 41022

Tipos	Grados	Clases	Usos
Tipo A, ladrillos hechos a máquina	1	Clase P, o perforado	Paredes con carga elevada, expuestas en sus dos caras, y clima lluvioso fuerte.
	2	Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Paredes con carga moderada, expuestas en una cara, y clima con lluvia moderada.
	3	Clase P, o perforado Clase T, o tubular	Paredes con carga baja, expuestas en una cara, y clima con poca lluvia.
Tipo B, ladrillos hechos a mano	3	Clase M, o macizo	Paredes sin carga, clima con poca lluvia. No aptos para paredes expuestas.

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41022

Tabla IV. Resistencia mínima a la compresión para cualquiera de los tres tipos de bloques huecos de hormigón, norma Coguanor NGO 41054

Clase y grado de los bloques	Resistencia mínima a la compresión, serán calculadas sobre la superficie bruta del bloque			
	Promedio de cinco bloques		De un solo bloque	
	Mpa	(PSI)	Mpa	(PSI)
Clase A. Para soportar carga				
- Grado 1. Para unos dos generales	6.9	(1000)	5.5	(800)
- Grado 2. Para usos limitados	4.8	(700)	4.1	(600)
Clase B. Para no soportar carga				
- Grado 2. Para usos limitados	2.5	(360)	2.1	(300)

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41054

Tabla V. Dimensiones nominales de los ladrillos de barro cocido, Norma Coguanor NGO 410022

Tipo	Clase	Dimensiones en Cm		
		Largo	Ancho	Espesor
Tipo A, ladrillos hechos a máquina	Clase P, o perforado	23	11	6.5
		23	14	6.5
	Clase T, o tubular	23	11	6.5
		23	14	6.5
		29	11	6.5
		29	14	6.5
		29	11	9
		29	14	9
		29	14	11
		23	11	11
		29	14	14
		23	23	11
		Tipo B, ladrillos hechos a mano	Clase M, o macizo	23
23	14			6.5

Fuente: Norma COGUANOR NGO 410022

Tabla VI. Máxima absorción de agua para bloques huecos de hormigón de clase A, es decir, destinados a soportar cargas, norma Coguanor NGO 41054

Máxima absorción de agua, en kg de agua absorbida hasta saturación por cada metro cúbico en bloque de hormigón seco				
Grado	Bloque del tipo liviano		Bloque del tipo medio, menor de 2000 kg/m ³ hasta 1680 kg/m ³	Bloques de tipo pesado, de 2000 kg/m ³ o mas
	Menos de 1360 kg/m ³	Menos de 1680 kg/m ³		
Grado 1, para usos generales	-	288	240	208
Grado 2, para usos limitados	320	-	-	-

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41054

Tabla VII. Requisitos físicos de ladrillo de barro cocido, norma Coguanor NGO 41022

Requisito	Tipo A, ladrillos hechos a máquina					Tipo B, ladrillos hechos a mano
	Clase P, o perforado			Clase T, o tubular		Clase M, o macizo
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 2	Grado 3	Grado 3
Resistencia a la compresión, en Mpa, mínimo promedio de cinco unidades individuales	12	8	4.5	7	4.5	4
	9	6	3.5	6	3.5	3.5
Adherencia en Mpa, mínimo promedio de tres especímenes, espécimen individual	0.4	0.4	0.25	0.4	0.25	0.2
	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2
Absorción de agua en 24 hrs, en porcentaje máximo, promedio de cinco unidades individuales	12	14	18	14	18	20
	14	16	20	16	20	24
Tolerancia en las dimensiones en milímetros, máximo	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3
Razones de absorción (succión) en g/(min) (cm ³)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41022

Tabla VIII. Medidas principales nominales de los bloques huecos de hormigón, norma Coguanor NGO 41 054

	Medidas principales nominales o modulares, en cm			Medidas principales reales, en cm		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de pared o muro	20	20	40	1	19	39
	15	20	40	9	19	39
Medio bloque de pared o muro	20	20	20	1	19	19
	15	20	20	9	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41054

Tabla IX. Clasificación de bloques de concreto, según estudio CII/USAC

Esfuerzo a compresión (kg/cm ²)	Tipo de bloque	Uso
50	A	Muro de carga
35	B	Muro de carga
25	C	Muro de relleno
18	D	Muro de relleno

Fuente: Carlos Saba. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Pág. 51

3.2.2 Propiedades mecánicas de rocas naturales:

Esta propiedad mecánica puede establecerse sometiendo a compresión núcleos de roca natural, extraídos mediante una broca cilíndrica con borde diamantado.

En la tabla X se muestran las propiedades mecánicas de las piezas de roca natural empleados en mampostería.

Tabla X. Resistencia a la compresión de rocas naturales

Roca	Peso volumétrico seco t/m ³	Resistencia a la compresión kg/cm ²	Resistencia a la tensión kg/cm ²	Módulo de elasticidad kg/cm ²
Areniscas	1.75 a 2.65	150 a 3,200	60 a 120	40,000 a 200,000
Basaltos (roca braza)	2.30 a 3.00	800 a 5,800	200 a 300	100,000 a 300,000
Granito natural	2.40 a 3.20	800 a 3,000	100 a 200	400,000 a 500,000
Mármol	2.40 a 2.85	300 a 3,000	35 a 200	900,000

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 11

4. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA.

4.1 Mampostería de ladrillos de barro cocido y bloques de hormigón:

4.1.1 Resistencia a compresión:

La forma más común para determinar la resistencia a compresión de la mampostería y por lo tanto la más confiable, es ensayar pilas formadas con las piezas del tipo de mampostería a emplear en la construcción, unidas con mortero.

Se establece el procedimiento estándar para calcular el esfuerzo a compresión resistente, proponiendo el ensaye de pilas con una relación altura espesor del orden de cuatro ($h/t = 4$), realizando por lo menos nueve pruebas en este tipo de muretes para dar confiabilidad a los valores obtenidos.

Los resultados de las pruebas presentan dispersión por lo que se aplican procedimientos estadísticos que proporcionan valores confiables. El valor nominal de diseño en compresión es:

$$f'_m = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5 C_m}$$

Donde:

\bar{f}_m = Esfuerzo promedio de todos los ensayos.

C_m = Coeficiente de variación de la muestra.

4.1.2 Módulo de elasticidad:

El módulo de elasticidad se obtiene aplicando fuerza de compresión en etapas sucesivas y midiendo la deformación unitaria mediante extensómetros mecánicos o eléctricos (*strain gages*). Sin embargo, las NTC para mampostería proponen el empleo de las siguientes expresiones para establecer esta propiedad en función de la resistencia f'_m de diseño a la compresión de la mampostería respectiva.

Para tabiques de barro:

$$E = 600 f'_m \quad \text{Para cargas de corta duración.}$$

$$E = 350 f'_m \quad \text{Para cargas sostenidas.}$$

Para mampostería de bloques y tabiques de concreto:

$$E = 800 f'_m \quad \text{Para cargas de corta duración.}$$

$$E = 350 f'_m \quad \text{Para cargas sostenidas.}$$

4.1.3 Resistencia a cortante:

El valor del esfuerzo cortante resistente v'_m de la mampostería se obtiene en ensayos de muretes aproximadamente cuadrados conteniendo en cada hilada cuando menos una pieza y media sometidos a fuerzas diagonales.

Se sugiere que se realicen un mínimo de nueve ensayos de los cuales se obtendrá el esfuerzo resistente en cada prueba mediante la expresión:

$$v'_m = \frac{P_R}{Db}$$

En la cual:

v'_m = Esfuerzo cortante resistente de la mampostería empleada.

P_R = Fuerza diagonal resistente sobre el murete.

D = Distancia diagonal en el murete.

b = Espesor del murete.

Una vez realizadas las pruebas se determinará el valor del esfuerzo resistente v'_m del lote de muretes ensayados a partir de la siguiente expresión:

$$v'_m = \frac{\bar{v}'_m}{1 + 2.5 C_v}$$

Donde:

\bar{v}'_m = Promedio de los esfuerzos resistentes de los muros ensayados.

C_v = Coeficiente de variación de los esfuerzos resistentes de los muretes ensayados que no se tomará menor que 0.20.

4.2 Propiedades mecánicas de mampostería de roca natural

Las propiedades que caracterizan la mampostería de roca natural son las que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla XI. Propiedades mecánicas de mampostería de roca natural

Resistencia a la compresión y cortante de rocas naturales Mampostería de tercera		
Tipo de mortero	f'_m	v'_m
Mampostería enlazada con mortero de resistencia en compresión no menor de 50 kg/cm ²	20 kg/cm ²	0.6 kg/cm ²
Mampostería enlazada con mortero de resistencia a compresión menor de 50 kg/cm ²	15 kg/cm ²	0.4 kg/cm ²

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 14

5. VALORES INDICATIVOS PARA EL DISEÑO DE MORTEROS DE USO EN MAMPOSTERÍA.

Los morteros que se empleen en elementos de mampostería deberán cumplir con los requisitos siguientes:

1. Su resistencia de diseño a compresión será por lo menos de 40 kg/cm^2 para construcciones localizadas en zonas sísmicas C y D, y 15 kg/cm^2 en zonas A y B.
2. Usualmente se utiliza una relación volumétrica entre la arena y la suma de cementante la cual se encuentra entre 2.25 y 3.
3. Se cumplirán los requisitos de calidad especificados en la norma ASTM C-270.
4. Se empleará la misma cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente manejable.

Figura 7. Amasado de mortero



Fuente: Condominio "San Fermín" Condado Naranjo. 2,009

Tabla XII. Proporcionamiento y resistencia de diseño a la compresión de diversos tipos de morteros (teórica)

Tipo de mortero	Partes de cemento	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal	Partes de arena	f'_J en kg/cm ²
I	1	-	0 a 1/4	No menos de 2.25	-
	1	0 a 1/2	-		125
II	1	-	1/4 - 1/2	No más de 3 veces la suma de sus aglomerantes	-
	1	1/2 a 1	-		75
III	1	-	1/2 a 1 1/4	-	40

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 14

Tabla XIII. Valores indicativos de resistencia f'_m de diseño a compresión de algunas mamposterías.

Resistencia de diseño a compresión de la mampostería f'_m para algunos tipos de piezas sobre área bruta			
Tipo de pieza	f'_m en kg/cm ²		
	Mortero I	Mortero II	Mortero III
Tabique de barro recocido ($f'_P > 60$ kg/cm ²)	15	15	15
Tabiques de barro con huecos verticales ($f'_P > 120$ kg/cm ²)	40	40	30
Bloque de concreto (pesado) ($f'_P > 100$ kg/cm ²)	20	15	15
Tabique de concreto (tabicón) ($f'_P > 100$ kg/cm ²)	20	15	15

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 15

Tabla XIV. Valores indicativos de resistencia de diseño f'_m para piezas de barro cocido

Resistencia de diseño a compresión de la mampostería de piezas de barro (f'_m en kg/cm ² sobre el área bruta)			
f'_p (kg/cm ²)	f'_m en kg/cm ²		
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III
60	20	20	20
75	30	30	25
100	40	40	30
150	60	60	40
200	80	70	50
300	120	90	70
400	140	110	90
500	160	130	110

(Para bloques y tabiques de concreto con una relación altura espesor no menor de 0.5)

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 15

Tabla XV. Valores indicativos de resistencia de diseño a compresión diagonal v'_m para algunos tipos de mampostería

Esfuerzo cortante resistente de diseño V'_m para algunos tipos de mampostería sobre área bruta		
Pieza	Tipo de mortero	V'_m (kg/cm ²)
Tabique de barro recocido ($f'_p > 60$ kg/cm ²)	I	3.5
	II y III	3.0
Tabiques de barro con huecos verticales ($f'_p > 120$ kg/cm ²)	I	3.0
	II y III	2.0
Bloque de concreto pesado ($f'_p > 100$ kg/cm ²)	I	3.5
	II y III	2.5
Tabique de concreto (tabicón) ($f'_p > 100$ kg/cm ²)	I	3.0
	II y III	2.0

Fuente: Gabriel O. Gallo, Luís I. Espino, Alfonso E. Olvera. Diseño estructural de casas habitación. Pág. 16

5.1 Normativa para materiales a utilizar en morteros

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

- Cemento portland: ASTM C-150 (*Standard specification for portland cement*) y COGUANOR NGO 41 005 (Cemento portland, clasificación y especificaciones)
- Cemento hidráulico mezclado: ASTM C-595 (*Standard specification for blended hydraulic cements*).
- Cemento de mampostería: ASTM C-91 (*Standard specification for masonry cement*).
- Cal hidratada, tipo S: ASTM C-207 (*Standard specification for hydrated lime for masonry purposes*) y COGUANOR NGO 41 018 (Cal hidratada, especificaciones).
- Cal viva: ASTM C-5 (*Standard specification for quicklime for structural purposes*).
- Agregados finos: ASTM C-144 (*Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*) y COGUANOR NGO 41 066 (Agregados o áridos, especificaciones de los agregados para morteros de albañilería).
- Agregados gruesos (para morteros de rellenos): ASTM C-404 (*Standard Specification for Aggregates for Masonry Grout*).
- Aditivos: ASTM C-494 (*Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*) y COGUANOR NGO 41 070 (Hormigón, aditivos químicos, especificaciones).
- Aditivos inclusores de aire: ASTM C-260 (*Standard Specification for Air- Entraining Admixtures for Concrete*) y COGUANOR NGO 41 069 (Hormigón, aditivos incorporadores de aire, especificaciones).

5.2 Clasificación de los morteros, según norma ASTM C-270

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

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

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

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

Tabla XVI. Especificaciones de los morteros por propiedad

Mortero	Tipo	Resistencia Mínima promedio a compresión a 28 días kg/cm ² , (Mpa)	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
Cemento-cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14	
	O	25 (2.4)	75	14	
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)	75	18	
	S	127 (12.4)	75	18	
	N	53 (5.2)	75	18	
	O	25 (2.4)	75	18	

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

Tabla XVII. Masa de los materiales del mortero

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

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

5.3 Selección del tipo de mortero según su uso

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

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

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

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

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

Tabla XVIII. Guía para seleccionar morteros de mampostería

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

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

6. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS A REALIZAR PARA LA EVALUACIÓN DE MORTEROS.

El estudio desarrollado comprende una serie de ensayos, para determinar las dosificaciones de morteros idealizadas, que asemejen la resistencia de los elementos mampuestos utilizados comúnmente en la construcción de muros de mampostería. Para determinar dichas proporciones, se inició con la evaluación de la resistencia a la compresión de probetas, elaboradas con las proporciones a evaluar, las cuales fueron determinadas de acuerdo a sondeos realizados en diferentes obras, de acuerdo a las relaciones de materiales que rige la norma ASTM C-270, así como los elementos de mampostería a usar, realizando dichas proporciones con cemento UGC (tipo I (PM), norma ASTM C-1157) y Cal hidratada, además del uso de cemento pegablock (tipo S, norma ASTM C-91).

Una vez evaluadas todas las propiedades mecánicas de estas proporciones de materiales, se determinó si las fallas presentadas en los prismas indican si la resistencia del mortero se encuentra debajo o arriba de la resistencia del elemento de mampostería, y así, realizar las observaciones y recomendaciones necesarias para que el muro falle de una forma idealizada.

Se realizó una serie de ensayos de cada proporción por día, con el fin de que no haya tanta complicación con la elaboración de los ensayos en estado plástico de los morteros para después elaborar las probetas necesarias para los ensayos en estado endurecido.

Luego se procedió a ensayar los prismas para las pruebas de adherencia y cortante con el fin de comprobar el tipo de falla que presente este.

Como ya es sabido, la nomenclatura de las proporciones es (cemento) : (cal) : (arena); las proporciones a usar con cemento UGC son: 1 : 0.25 : 3.13 , 1 : 0.5 : 3.5 y 1 : 0 : 3. Y con cemento pegablock son: 1 : 0.25 : 3.13 , y 1 : 0 : 3

Tabla XIX. Diseños propuestos para unión de bloques de mampostería

No. Diseño	Proporciones				Tipo de agregado fino	Tipo de block usado
	Tipo cemento	Cemento	Cal	Arena		
1	UGC	1	0.25	3.13	Arena triturada	35 kg/cm ²
1N	pegablock	1	0.25	3.13	Arena triturada	25 kg/cm ²
5N	pegablock	1	0.00	3.00	Arena triturada	25 kg/cm ²
4	UGC	1	0.50	3.50	Arena triturada	25 kg/cm ²
5	UGC	1	0.00	3.00	Arena triturada	35 kg/cm ²

A continuación se describirá el proceso de realización de cada ensayo que se le practicará a los morteros y prismas, para su correcta ejecución:

Figura 8. Ilustraciones de los ensayos realizados



Fuente: Sección de aglomerantes y morteros CII-USAC. 2,009

6.1 Ensayos para morteros

6.1.1 En estado plástico

6.1.1.1 Flujo y trabajabilidad en morteros

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

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

Donde:

T = Trabajabilidad del mortero expresada en porcentaje.

L = Lectura tomada del medidor de flujo.

Normas Aplicables:

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

Figura 9. Ensayo de flujo y trabajabilidad



Fuente: Sección de aglomerantes y morteros CII-USAC. 2,009

6.1.1.2 Retención de agua

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

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

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

proporción de la capa base. La retención se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$R = (F_d \div F_a) \times 100$$

Donde:

R = Retención de agua expresada en porcentaje.

F_a = Flujo antes de la succión.

F_d = flujo después de la succión.

Normas Aplicables:

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

Figura 10. Ensayo de retención de agua



Fuente: Carlos Sabá, Evaluación de la Incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Pág. 42

6.1.1.3 Masa unitaria

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad del concreto fresco mezclado. La masa unitaria o densidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = M \div V$$

Donde:

ρ = Masa unitaria o densidad del mortero.

M = Masa del mortero.

V = Volumen del recipiente que contiene al mortero.

Normas Aplicables:

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

Figura 11. Ensayo de masa unitaria



Fuente: Carlos Sabá. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería. Pág. 45

6.1.1.4 Velocidad de endurecimiento mediante el método de la resistencia a la penetración

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

$$P = F \div A$$

Donde:

P = Resistencia a la penetración.

F = Fuerza de presión aplicada mediante el dinamómetro.

A = Área de la aguja utilizada en la penetración

Figura 12. Ensayo de velocidad de endurecimiento por el método de resistencia a la penetración



Fuente: Sección de aglomerantes y morteros CII-USAC. 2,009

Normas Aplicables:

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

6.1.2 En estado endurecido

6.1.2.1 Resistencia a la compresión

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

$$C = P \div A$$

Donde:

C = Esfuerzo de compresión.

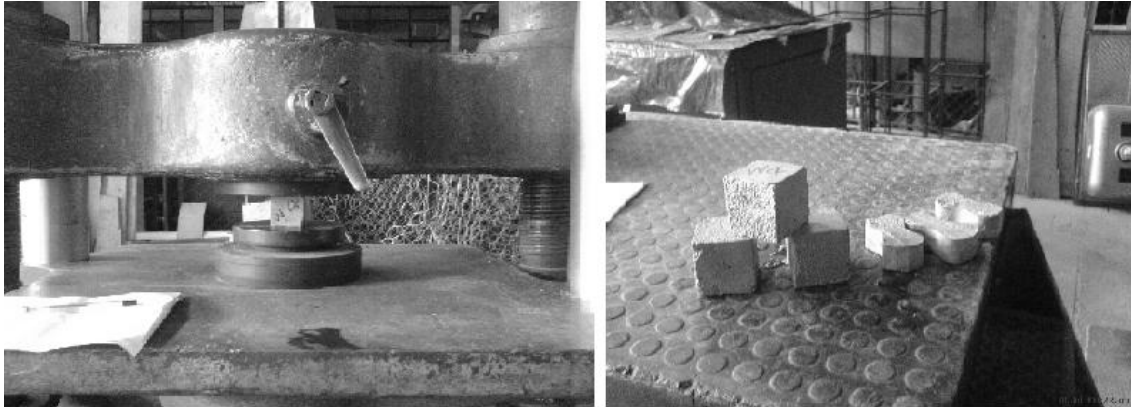
P = Carga de falla.

A = Área de la cara del cubo de mortero.

Normas Aplicables:

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

Figura 13. Ensayo de compresión



Fuente: Sección de aglomerantes y morteros CII-USAC. 2,009

6.1.2.2 Resistencia a la tensión

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

$$T = P \div A$$

Donde:

T = Esfuerzo de tensión.

P = Carga de falla.

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

Norma Aplicable:

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

Figura 14. Ensayo de tensión

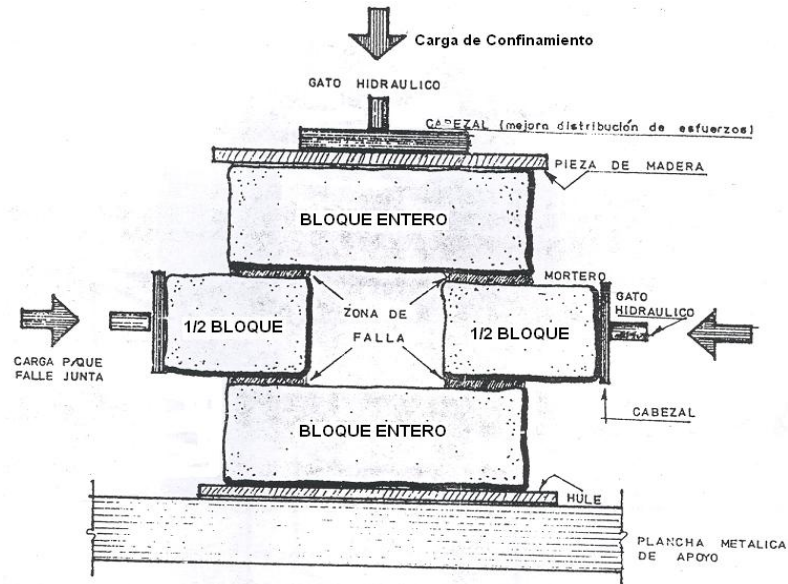


Fuente: Sección de aglomerantes y morteros CII-USAC. 2,009

6.1.2.3 Adherencia

El ensayo empleado para la determinación de la adherencia del mortero a las unidades de mampostería fue adaptado del método para la evaluación de esfuerzos de adherencia y fricción en la mampostería, utilizado en la sección de morteros del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos (CII/USAC).

Figura 15. Prisma para ensayo con cargas aplicadas para la evaluación de adherencia entre mortero-unidad de mampostería



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

Para la realización del ensayo se utilizó el siguiente equipo

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

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

El procedimiento para la realización del ensayo es el siguiente:

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

$$P = Pr \times Ae$$

Donde:

P = Fuerza puntual provocada por los gatos hidráulicos.

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

Ae = Área del embolo del gato hidráulico igual a 13.35 cm².

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

$$E = P \div A$$

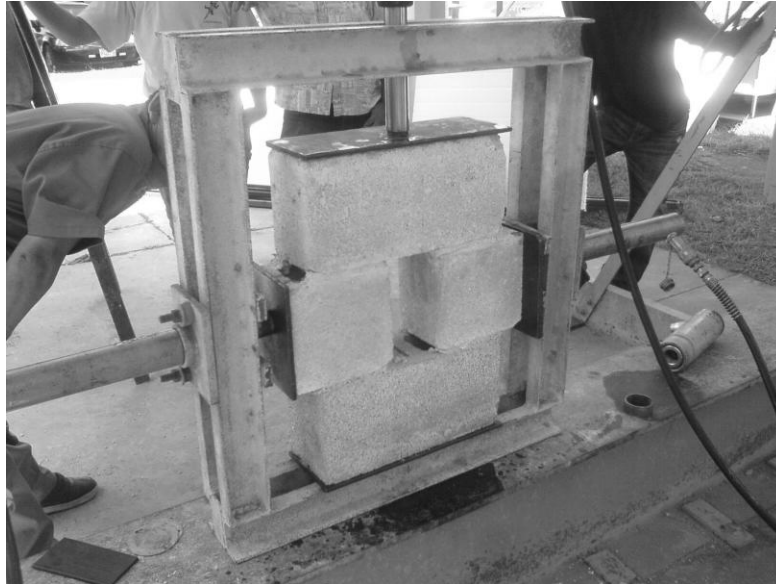
Donde:

E = Esfuerzo de adherencia.

P= Fuerza aplicada por los gatos hidráulicos

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

Figura 16. Ensayo de adherencia entre mortero-unidad de mampostería



Fuente: Área de mampostería CII-USAC. 2,009

6.2 Ensayos para muros de mampostería

6.2.1 Resistencia a la compresión

Como se estipuló en el capítulo 4, la forma como se determina la resistencia a compresión de los muros de mampostería es por medio de prismas elaborados con los elementos a utilizar y enlazados con los diseños propuestos para su construcción, luego se ensayan con incrementos de cargas verticales hasta que se sobrevenga la falla. En la figura que se presenta a continuación se puede apreciar un prisma en proceso de ensayo.

Figura 17. Ensayo resistencia a la compresión efectuado a prismas de mampostería



Fuente: Área de mampostería CII-USAC. 2,009

6.2.2 Resistencia al cortante

La resistencia a cortante en los prismas de mampostería, es evaluada de manera similar a los prismas ensayados a compresión, pero estos son colocados en un ángulo de 45° para inducir esfuerzos cortantes en el sistema.

Es recomendable apoyar el prisma sobre su esquina inferior derecha, además deben usarse platinas especiales para colocar el prisma en una correcta disposición, como se muestra en la figura 18 y así evitar datos erróneos en el ensayo.

Figura 18. Ensayo de corte efectuado a los prismas de mampostería



Fuente: Área de mampostería CII-USAC. 2,009

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presenta los resultados obtenidos, en los distintos ensayos realizados a las proporciones de morteros propuestos, procediendo al análisis respectivo de los mismos, así como las mejoras que se proponen a las dosificaciones que no cumplen con los estados idealizados a los que se pretende llegar.

7.1 Ensayo de flujo (*flow*) y trabajabilidad:

Tabla XX. Resultados ensayo de flujo y trabajabilidad de morteros efectuados a los diseños propuestos

No.	Proporción	Tipo de cemento utilizado	Flow (Flujo)	Relación agua/cemento	Trabajabilidad
1	1 : 0.25 : 3.13	UGC	106.50	0.88	52.00 mm
1N	1 : 0.25 : 3.13	pegablock	105.00	1.01	54.00 mm
5N	1 : 0.00 : 3.00	pegablock	106.00	0.91	51.00 mm
4	1 : 0.50 : 3.50	UGC	105.50	1.01	52.50 mm
5	1 : 0.00 : 3.00	UGC	110.00	0.74	40.10 mm

Figura 19. Comportamiento ensayo de flujo efectuado a los diseños propuestos

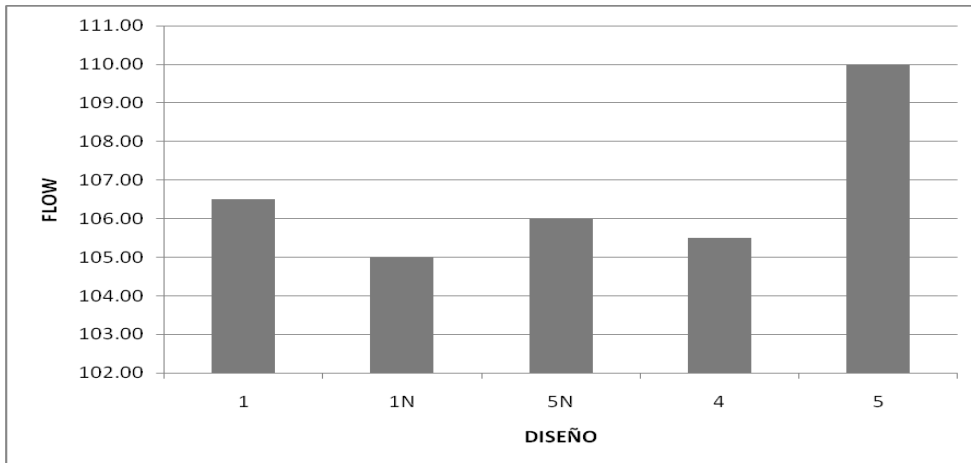


Figura 20. Comportamiento ensayo de trabajabilidad en campo a los diseños propuestos

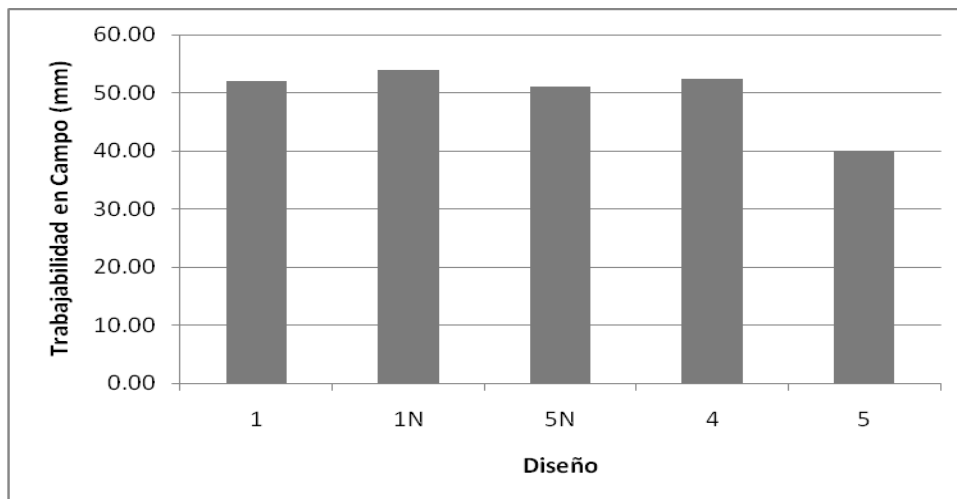
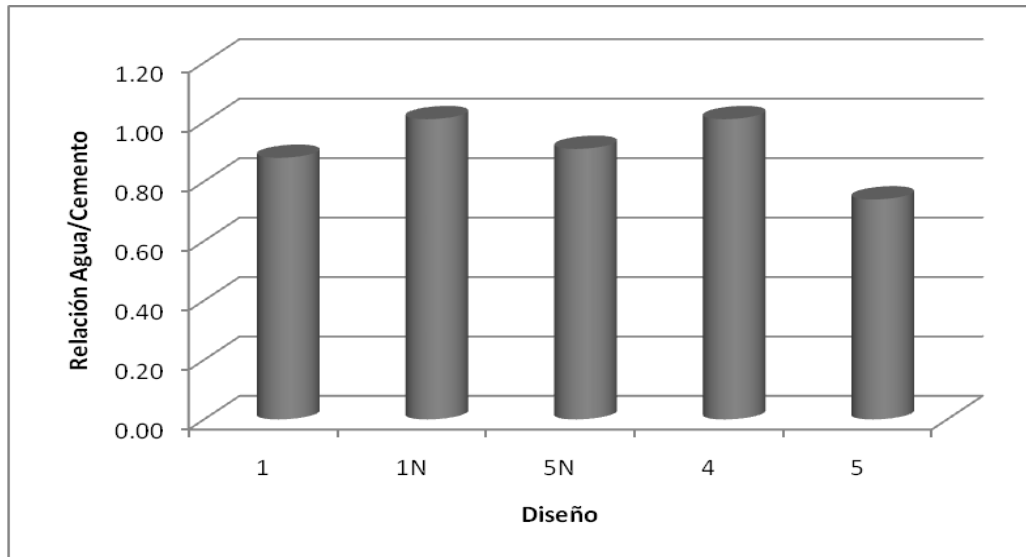


Figura 21. Relación agua/cemento en los diseños propuestos



Para los cinco diseños propuestos se obtuvo un flujo (flow) entre 105 y 115 de acuerdo a lo especificado en la norma COGUANOR NGO 41003 h4, como ya es sabido, en dos proporciones se utilizaron cementos diferentes manteniéndose constante la cantidad de agregados y cal si este la incluye en su proporción, a pesar de ello, las cantidades de agua requeridas para obtener una trabajabilidad entre los parámetros establecidos fue diferente, requiriendo una mayor cantidad los diseños trabajados con cemento pegablock y Cal (Diseño 1N) seguido muy de cerca por el diseño 4, el cual fue elaborado con cemento UGC pero con un alto contenido de cal en su dosificación, teniendo después al diseño 5N, luego al diseño 1 y por último con una relación agua/cemento inferior el diseño 5, el cual fue elaborado únicamente con cemento UGC.

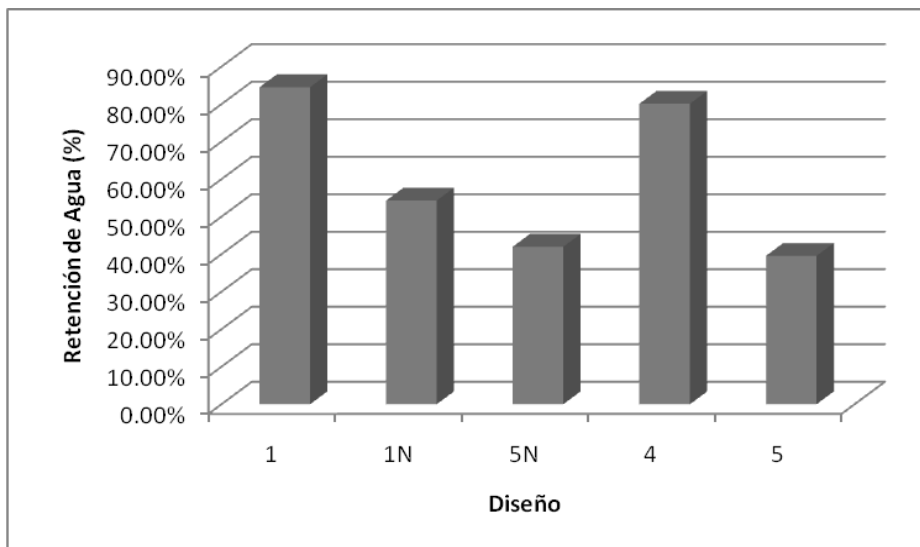
Ahora, con la trabajabilidad en campo se puede apreciar la misma tendencia, teniendo un mejor resultado el diseño 1N (elaborado con cemento pegablock y cal), seguido por el diseño 4 (elaborado con cemento UGC y un alto contenido de cal), después tenemos al diseño 5N, el diseño 1 y por último, con una trabajabilidad de 40 mm el diseño 5.

7.2 Ensayo de retención de agua:

Tabla XXI. Resultados ensayo de retención de agua efectuado a los diseños propuestos

No.	Proporción	Tipo de cemento utilizado	Retención de agua
1	1 : 0.25 : 3.13	UGC	84.51%
1N	1 : 0.25 : 3.13	pegablock	54.29%
5N	1 : 0.00 : 3.00	pegablock	41.98%
4	1 : 0.50 : 3.50	UGC	80.09%
5	1 : 0.00 : 3.00	UGC	39.55%

Figura 22. Comportamiento ensayo de retención de agua efectuado a los diseños propuestos



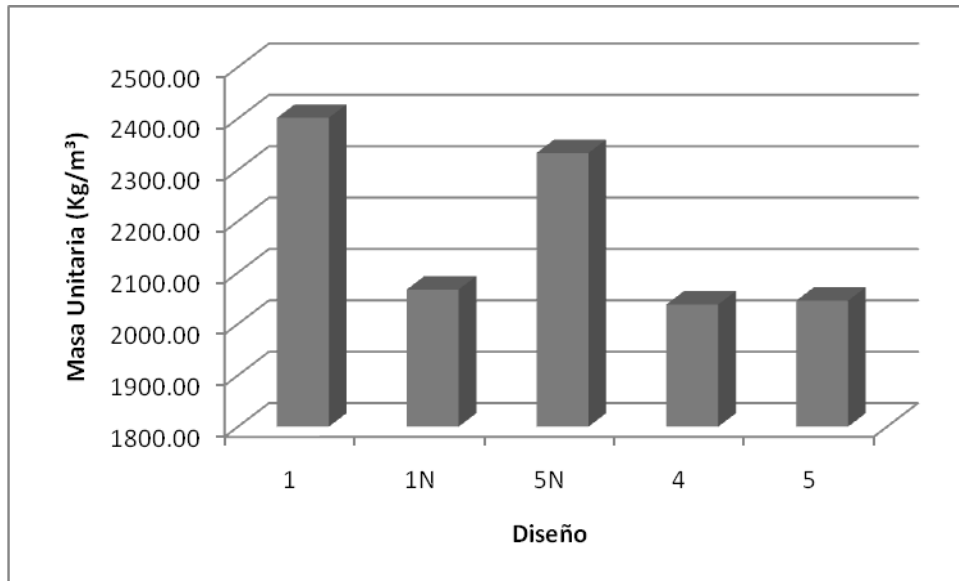
Como se interpreta en la gráfica anterior, los morteros con cemento UGC y cal (diseños 1 y 4 respectivamente) obtuvieron una mejor retención de agua, seguidos por los morteros que fueron elaborados con cemento pegablock y por último el diseño 5 que tiene un 14% menos en cuanto a capacidad de retención de agua respecto al mejor diseño que es el diseño 1 con una capacidad de retención del 84.51%, se observó que los morteros con un alto contenido de cal en sus dosificaciones poseen una mejor retención de agua, lo que los ayuda a mantener sus propiedades y con el tiempo y trabajar bachadas mayores sin que estas sobrepasen el estado plástico.

7.3 Ensayo de masa unitaria:

Tabla XXII. Resultados ensayo de masa unitaria efectuado a los diseños propuestos

No.	Proporción	Tipo de cemento utilizado	Masa unitaria (kg/m ³)
1	1 : 0.25 : 3.13	UGC	2401.25
1N	1 : 0.25 : 3.13	pegablock	2067.00
5N	1 : 0.00 : 3.00	pegablock	2332.75
4	1 : 0.50 : 3.50	UGC	2037.88
5	1 : 0.00 : 3.00	UGC	2045.25

Figura 23. Comportamiento ensayo de masa unitaria efectuado a los diseños propuestos



El mortero elaborados con cemento UGC adición de cal en pequeñas cantidades (diseño 1), obtuvo una masa unitaria mayor a la presentada por los otros diseños (2,401.25 Kg/M³) aunque, debido a que todos los diseños presentaron un valor de masa unitaria superior a los 1,850 Kg/M³ se clasifican como morteros pesados de acuerdo a la tabla 2 vista anteriormente (Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria)

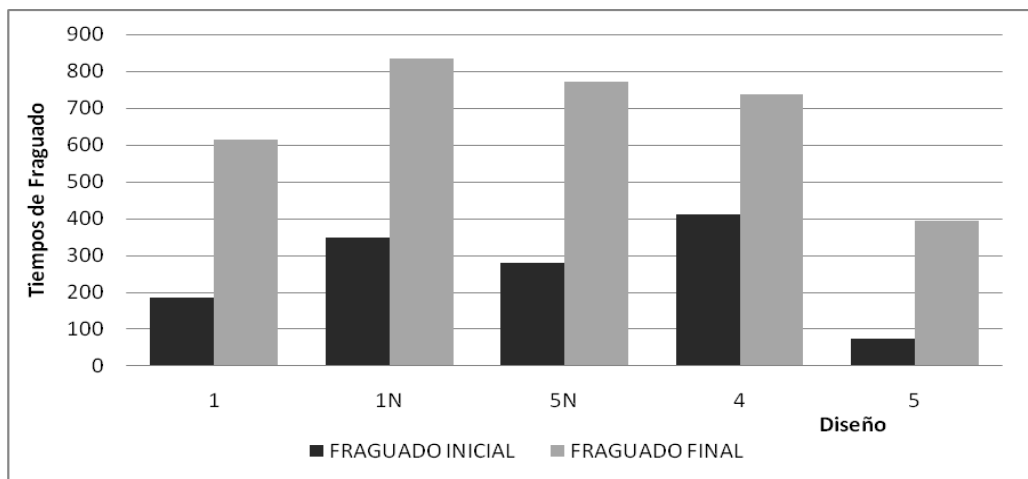
Estos valores pueden usarse para determinar qué tipo de muro debe usarse, al momento de diseñar edificaciones donde el peso propio de la estructura deba ser mínimo, debiéndose considerar los morteros que obtuvieron una menor masa unitaria, haciendo el análisis respectivo para verificar que este cumpla con las cargas que soportará, en el caso que no se utilizara como muro de relleno.

7.4 Ensayo de velocidad de endurecimiento por medio de resistencia a la penetración:

Figura 24. Tiempos de fraguado inicial y final de los diseños propuestos

No.	Proporción	Tipo de cemento utilizado	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
1	1 : 0.25 : 3.13	UGC	185.00	615.38
1N	1 : 0.25 : 3.13	pegablock	347.94	833.33
5N	1 : 0.00 : 3.00	pegablock	281.39	772.28
4	1 : 0.50 : 3.50	UGC	411.84	738.60
5	1 : 0.00 : 3.00	UGC	73.00	395.35

Figura 25. Gráfica comparativa tiempos de fraguados inicial y final en los diseños propuestos



7.4.1 Diseño 1:

Tabla XXIII. Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 1

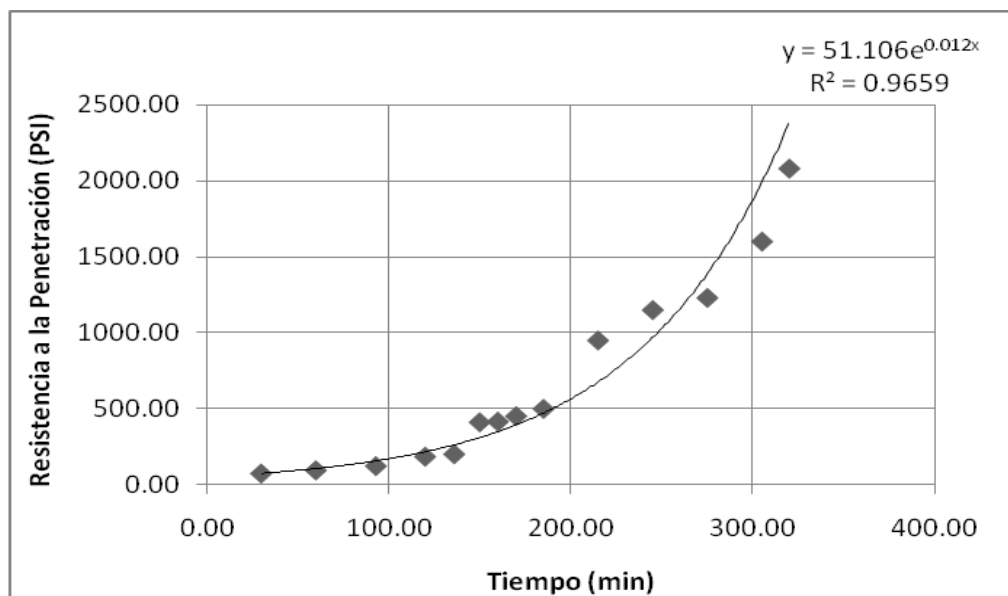
Hora	Minutos ac.	Area (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)	Hora	Minutos ac.	Area (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
10:15	0	0	0	0 PSI	13:05	170	1/4	113	452 PSI
10:45	30	1	75	75 PSI	13:15	185	1/4	125	500 PSI
11:15	60	1	96	96 PSI	13:45	215	1/10	95	950 PSI
11:48	93	1	124	124 PSI	14:15	245	1/10	115	1150 PSI
12:15	120	1/2	93	186 PSI	14:45	275	1/10	123	1230 PSI
12:31	136	1/2	101	202 PSI	15:15	305	1/20	80	1600 PSI
12:45	150	1/4	103	412 PSI	15:30	320	1/20	104	2080 PSI
12:55	160	1/4	104	416 PSI					

Hora de mezclado: 09:40 a. m.

Fraguado Inicial: 185.00 min.

Fraguado Final: 615.38 min.

Figura 26. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 1



7.4.2 Diseño 1N

Tabla XXIV. Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 1N

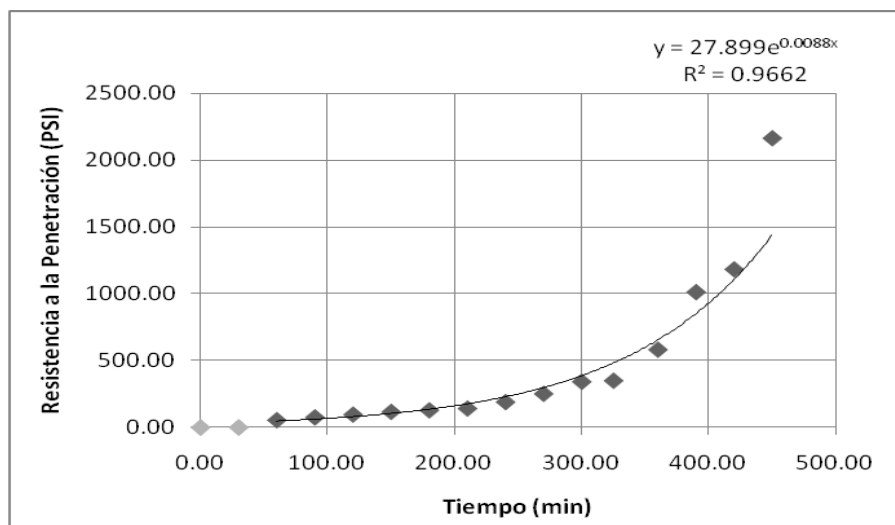
Hora	Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)	Hora	Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
11:05	0	0	0	0 PSI	15:05	240	1/2	94	188 PSI
11:35	30	1	0	0 PSI	15:35	270	1/2	125	250 PSI
12:05	60	1	53	53 PSI	16:05	300	1/4	85	340 PSI
12:35	90	1	74	74 PSI	16:30	325	1/4	87	348 PSI
13:05	120	1	95	95 PSI	17:05	360	1/10	58	580 PSI
13:35	150	1	115	115 PSI	17:35	390	1/10	101	1010 PSI
14:05	180	1	127	127 PSI	18:05	420	1/10	118	1180 PSI
14:35	210	1/2	70	140 PSI	18:35	450	1/20	108	2160 PSI

Hora de mezclado: 10:57 a. m.

Fraguado Inicial: 347.94 min.

Fraguado Final: 833.33.

Figura 27. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 1N



7.4.3 Diseño 5N:

Tabla XXV. Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 5N

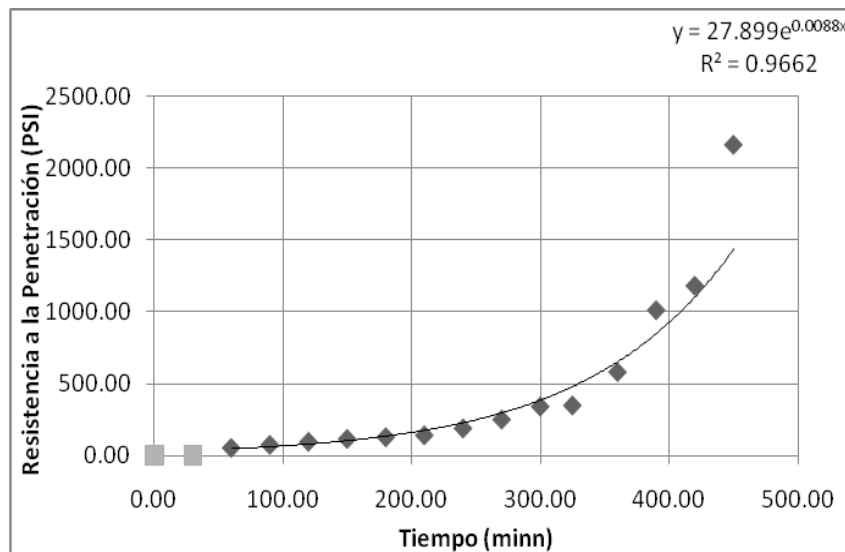
Hora	Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)	Hora	Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
12:00	0.00	0	0.00	0.00 PSI	15:30	210.00	1/2	102.00	204.00 PSI
12:30	30.00	1	0.00	0.00 PSI	16:00	240.00	1/4	75.00	300.00 PSI
13:00	60.00	1	66.00	66.00 PSI	16:25	265.00	1/4	92.00	368.00 PSI
13:30	90.00	1	78.00	78.00 PSI	17:00	300.00	1/10	65.00	650.00 PSI
14:00	120.00	1	109.00	109.00 PSI	17:30	330.00	1/10	103.00	1030.00 PSI
14:30	150.00	1	120.00	120.00 PSI	18:00	360.00	1/10	115.00	1150.00 PSI

Hora de mezclado: 11:52 a. m.

Fraguado Inicial: 281.39 min.

Fraguado Final: 772.28 min.

Figura 28. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 5N



7.4.4 Diseño 4:

Tabla XXVI. Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 4

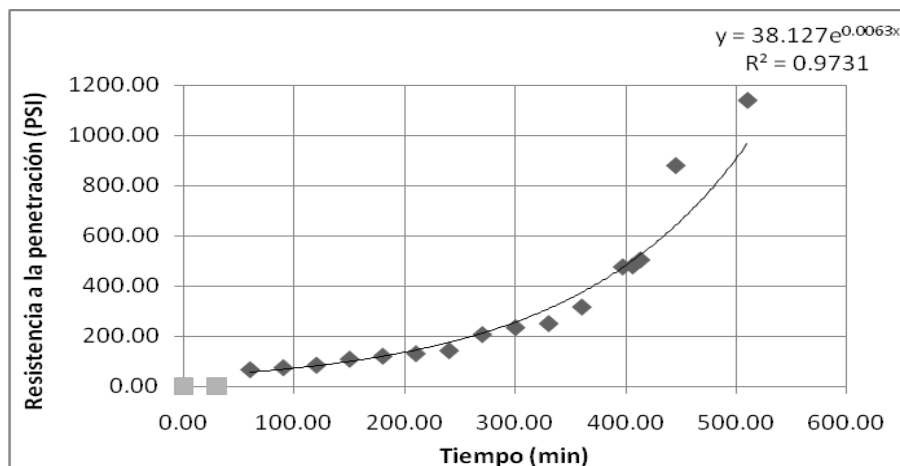
Hora	Minutos ac.	Área (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)	
10:20	0.00	0.00	0.00	0.00	PSI
10:50	30.00	0.00	0.00	0.00	PSI
11:20	60.00	1.00	66.00	66.00	PSI
11:50	90.00	1.00	74.00	74.00	PSI
12:20	120.00	1.00	84.00	84.00	PSI
12:50	150.00	1.00	108.00	108.00	PSI
13:20	180.00	1.00	120.00	120.00	PSI
13:50	210.00	1.00	130.00	130.00	PSI
14:20	240.00	0.50	71.00	142.00	PSI
14:50	270.00	0.50	103.00	206.00	PSI
15:20	300.00	0.50	117.00	234.00	PSI
15:50	330.00	0.50	125.00	250.00	PSI
16:20	360.00	0.25	79.00	316.00	PSI
16:57	397.00	0.25	119.00	476.00	PSI
17:06	406.00	0.25	120.00	480.00	PSI
17:13	413.00	0.25	126.00	504.00	PSI
17:45	445.00	0.10	88.00	880.00	PSI
18:15	510.00	0.10	114.00	1140.00	PSI

Hora de mezclado: 10:11 a. m.

Fraguado Inicial: 411.84 min.

Fraguado Final: 738.60 min.

Figura 29. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 4



7.4.5 Diseño 5:

Tabla XXVII. Resultados ensayo velocidad de endurecimiento efectuado al diseño 5

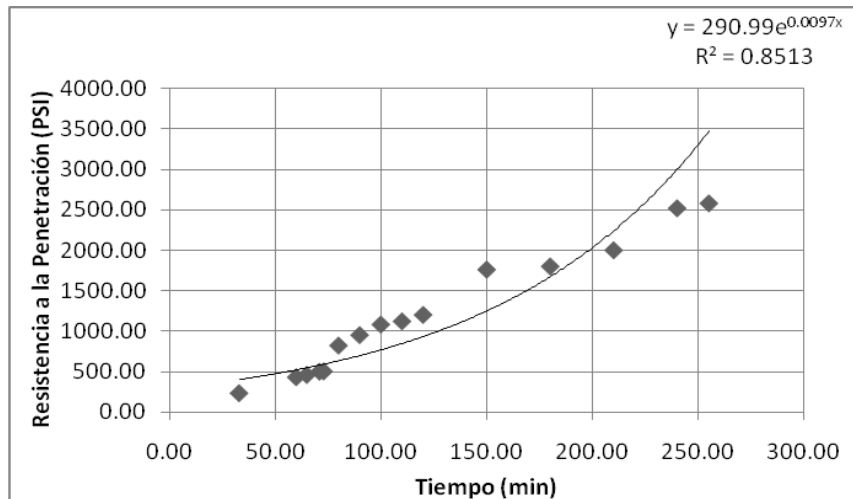
Hora	Minutos ac.	Area (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)	Hora	Minutos ac.	Area (Pulg ²)	P (lb)	Esfuerzo (PSI)
11:15	0.00	0.00	0.00	0.00 PSI	12:55	100.00	1/10	108.00	1080.00 PSI
11:48	33.00	1/2	115.00	230.00 PSI	13:05	110.00	1/10	112.00	1120.00 PSI
12:15	60.00	1/4	107.00	428.00 PSI	13:15	120.00	1/10	120.00	1200.00 PSI
12:20	65.00	1/4	114.00	456.00 PSI	13:45	150.00	1/20	88.00	1760.00 PSI
12:26	71.00	1/4	124.00	496.00 PSI	14:15	180.00	1/20	90.00	1800.00 PSI
12:28	73.00	1/10	50.00	500.00 PSI	14:45	210.00	1/20	100.00	2000.00 PSI
12:35	80.00	1/10	82.00	820.00 PSI	15:15	240.00	1/20	126.00	2520.00 PSI
12:45	90.00	1/10	95.00	950.00 PSI	15:30	255.00	1/20	129.00	2580.00 PSI

Hora de mezclado: 11:07 a. m.

Fraguado Inicial: 73.00 min.

Fraguado Final: 395.35 min.

Figura 30. Comportamiento velocidad de endurecimiento en diseño 5



Los parámetros que fueron evaluados en el ensayo de velocidad de endurecimiento, fueron los tiempos de fraguado inicial y final de acuerdo a la resistencia a la penetración que se obtuviera, de acuerdo a la norma.

Los morteros elaborados con cemento pegablock (diseños 1N y 5N) tienen un mayor tiempo de fraguado inicial y final que los morteros de las proporciones 1, 4 y 5, fabricados con cemento UGC, con excepción del diseño número 4, el cual posee una cantidad alta de cal lo que le dio el mayor tiempo de fraguado inicial, se puede ver que los morteros con cemento pegablock dan una mejor trabajabilidad a la hora de realizar morteros para la unión de bloques de mampostería.

La norma COGUANOR NGO 41017 h12, define que el mortero llegará a su fraguado inicial cuando este alcance una resistencia a la compresión de 3.45 Mpa. (500 PSI) Obteniendo el fraguado final cuando este alcance una resistencia a la compresión de 27.58 Mpa. (4,000.00 PSI)

En la figura 25, se puede apreciar el intervalo de tiempo entre el fraguado inicial y final de los diseños propuestos en donde se puede apreciar que los morteros con cemento pegablock, tardan un 35% más en llegar a su fraguado final después de su fraguado inicial respecto a los morteros que utilizan cemento UGC, siendo en promedio 359.83 min. Para los morteros elaborados con cemento UGC y 488.14 min. Para los fabricados con cemento pegablock.

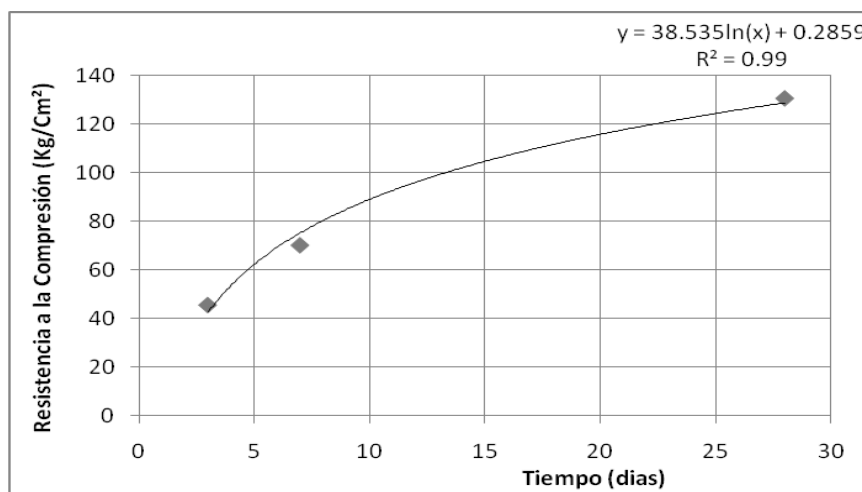
7.5 Ensayo de compresión:

7.5.1 Ensayo de compresión, diseño 1:

Tabla XXVIII. Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuadas al diseño 1

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Comp.	σ Comp. Prom.
3 días	1	4.00 pulg ²	1200.00 kg	46.50 Kg/Cm ²	45.73 kg/Cm ²
	2	4.00 pulg ²	1180.00 Kg	45.73 kg/Cm ²	
	3	4.00 pulg ²	1160.00 Kg	44.95 kg/Cm ²	
7 días	4	4.00 pulg ²	1690.00 Kg	65.49 kg/Cm ²	70.27 Kg/cm ²
	5	4.00 pulg ²	1750.00 Kg	67.81 kg/Cm ²	
	6	4.00 pulg ²	2000.00 Kg	77.50 kg/Cm ²	
28 días	7	4.00 pulg ²	3210.00 Kg	124.39 kg/Cm ²	130.59 kg/Cm ²
	8	4.00 pulg ²	3400.00 Kg	131.75 kg/Cm ²	
	9	4.00 pulg ²	3500.00 kg	135.63 kg/Cm ²	

Figura 31. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 1

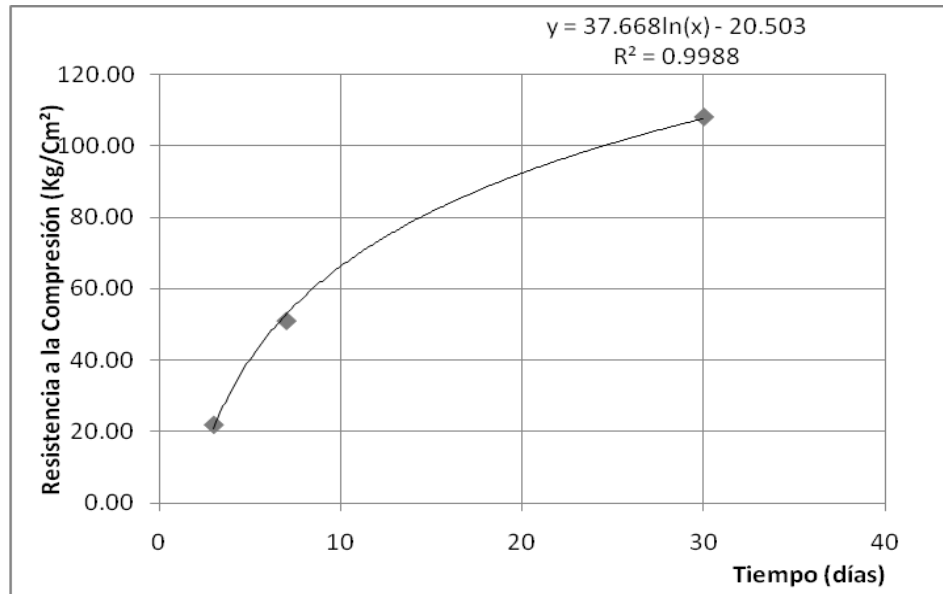


7.5.2 Ensayo de compresión, diseño 1N:

Tabla XXIX. Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuados al diseño 1N

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Comp.	σ Comp. Prom.
3 días	1	4.00 pulg ²	500.00 kg	19.38 Kg/Cm ²	21.96 kg/Cm ²
	2	4.00 pulg ²	650.00 kg	25.19 Kg/Cm ²	
	3	4.00 pulg ²	550.00 Kg	21.31 Kg/Cm ²	
7 días	4	4.00 pulg ²	1300.00 Kg	50.38 Kg/Cm ²	51.09 kg/Cm ²
	5	4.00 pulg ²	1320.00 Kg	51.15 Kg/Cm ²	
	6	4.00 pulg ²	1335.00 Kg	51.73 Kg/Cm ²	
28 días	7	4.00 pulg ²	2880.00 Kg	111.60 Kg/Cm ²	108.24 kg/Cm ²
	8	4.00 pulg ²	2700.00 Kg	104.63 Kg/Cm ²	
	9	4.00 pulg ²	2800.00 Kg	108.50 Kg/Cm ²	

Figura 32. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 1N

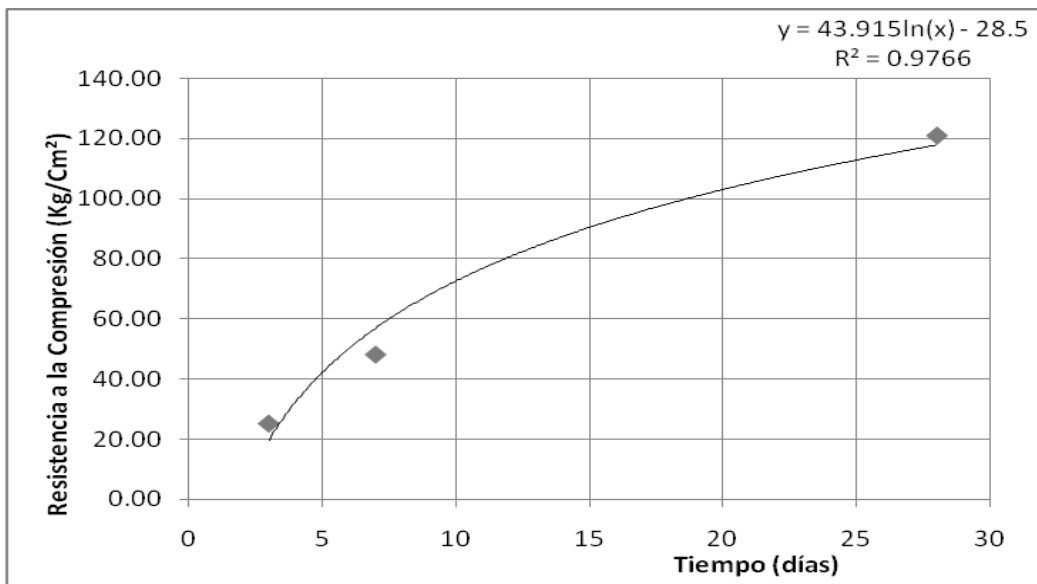


7.5.3 Ensayo de compresión, diseño 5N:

Tabla XXX. Resultados ensayo de compresión a tres edades convenientes efectuados al diseño 5N

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Comp.	σ Comp. Prom.
3 días	1	4.00 pulg ²	650.00 kg	25.19 Kg/Cm ²	25.19 kg/Cm ²
	2	4.00 pulg ²	650.00 kg	25.19 Kg/Cm ²	
	3	4.00 pulg ²	650.00 Kg	25.19 Kg/Cm ²	
7 días	4	4.00 pulg ²	1250.00 Kg	48.44 Kg/Cm ²	48.18 kg/Cm ²
	5	4.00 pulg ²	1190.00 Kg	46.11 Kg/Cm ²	
	6	4.00 pulg ²	1290.00 Kg	49.99 Kg/Cm ²	
28 días	7	4.00 pulg ²	3100.00 Kg	120.13 Kg/Cm ²	121.16 kg/Cm ²
	8	4.00 pulg ²	3280.00 Kg	127.10 Kg/Cm ²	
	9	4.00 pulg ²	3000.00 Kg	116.25 Kg/Cm ²	

Figura 33. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 5N

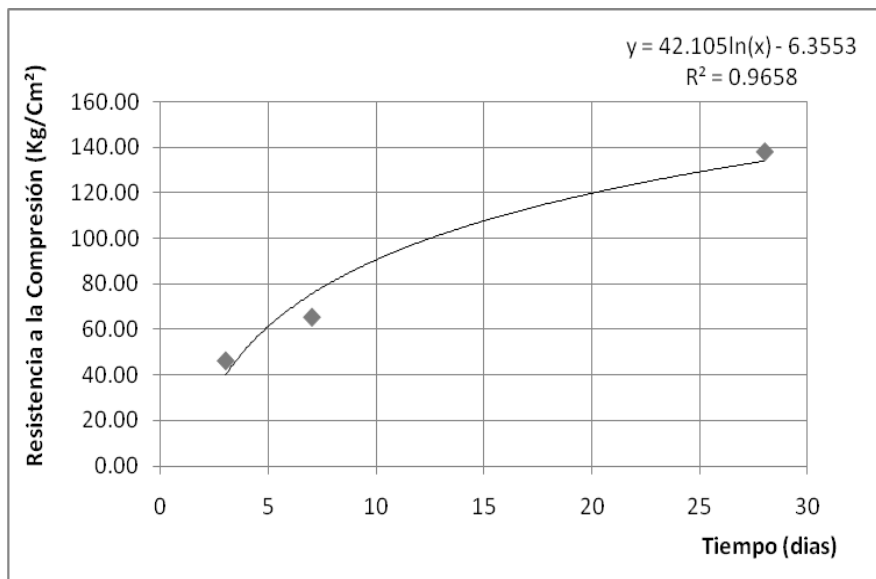


7.5.4 Ensayo de compresión, diseño 4:

Tabla XXXI. Resultados ensayo de compresión a tres edades convenidas efectuados al diseño 4

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Comp.	σ Comp. Prom.
3 días	1	4.00 pulg ²	1380.00 kg	53.48 Kg/Cm ²	46.24 kg/Cm ²
	2	4.00 pulg ²	1120.00 kg	43.40 Kg/Cm ²	
	3	4.00 pulg ²	1080.00 Kg	41.85 Kg/Cm ²	
7 días	4	4.00 pulg ²	1640.00 Kg	63.55 Kg/Cm ²	65.36 kg/Cm ²
	5	4.00 pulg ²	1720.00 Kg	66.65 Kg/Cm ²	
	6	4.00 pulg ²	1700.00 Kg	65.88 Kg/Cm ²	
28 días	7	4.00 pulg ²	3710.00 Kg	143.76 Kg/Cm ²	137.82 kg/Cm ²
	8	4.00 pulg ²	3460.00 Kg	134.08 Kg/Cm ²	
	9	4.00 pulg ²	3500.00 Kg	135.63 Kg/Cm ²	

Figura 34. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo del diseño 4

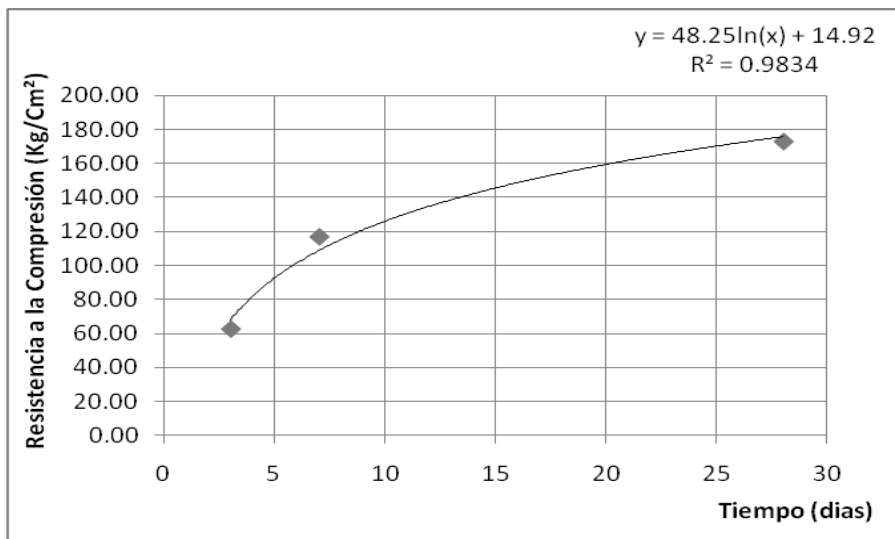


7.5.5 Ensayo de Compresión, Diseño 5:

Tabla XXXII. Resultados ensayo de compresión a 3 edades convenientes efectuados al diseño 5

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Comp.	σ Comp. Prom.
3 días	1	4.00 pulg ²	1800.00 kg	69.75 Kg/Cm ²	62.91 kg/Cm ²
	2	4.00 pulg ²	1610.00 kg	62.39 Kg/Cm ²	
	3	4.00 pulg ²	1460.00 Kg	56.58 Kg/Cm ²	
7 días	4	4.00 pulg ²	3130.00 Kg	121.29 Kg/Cm ²	116.90 kg/Cm ²
	5	4.00 pulg ²	3020.00 Kg	117.03 Kg/Cm ²	
	6	4.00 pulg ²	2900.00 Kg	112.38 Kg/Cm ²	
28 días	7	4.00 pulg ²	4510.00 Kg	174.76 Kg/Cm ²	172.63 kg/Cm ²
	8	4.00 pulg ²	4400.00 Kg	170.50 Kg/Cm ²	
	9	4.00 pulg ²	4455.00 Kg	172.63 Kg/Cm ²	

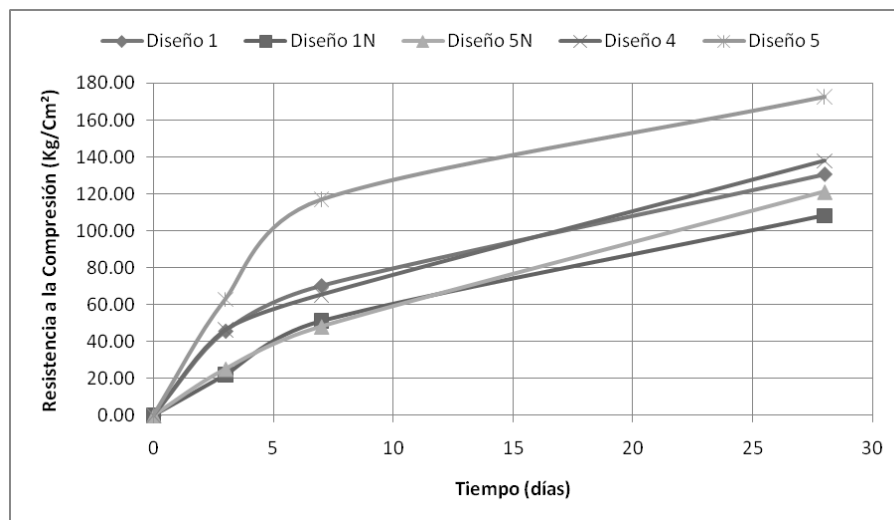
Figura 35. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vs. tiempo del diseño 5



El ensayo de compresión efectuado a los diseños propuestos, mostró que los morteros realizados con cemento UGC adquieren una mejor resistencia a la edad de 28 días, seguido por los diseños a los que les fue añadido una cantidad de cal, teniendo por último a los diseños fabricados con cemento pegablock, este fenómeno puede deberse a que los diseños con pegablock así como los de UGC que poseen cal en su proporción, tienen un tiempo de fraguado más lento como fue demostrado en los ensayos de Velocidad de Endurecimiento, por lo que pueden llegar a resistencias más altas con el transcurrir del tiempo. Eso se puede ver en la siguiente figura donde se presenta un grafico con la curva de Esfuerzo a compresión Vs. Tiempo para los cinco diseños propuestos.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos clasificar los morteros con base a lo establecido en la tabla 16 (especificaciones de los morteros por propiedades) como tipo “S” a los diseños 1 (1:0.25:3.13) elaborado con cemento UGC, 1N (1:0.25:3.13) elaborado con cemento pegablock, 5N (1:0:3) elaborado con cemento pegablock y 4 (1:0.50:3.50) elaborado con cemento UGC; y como tipo “M” al diseño 5 (1:0:3) elaborado con cemento UGC.

Figura 36. Gráfica comparativa resistencia a la compresión vrs. tiempo de los cinco diseños propuestos



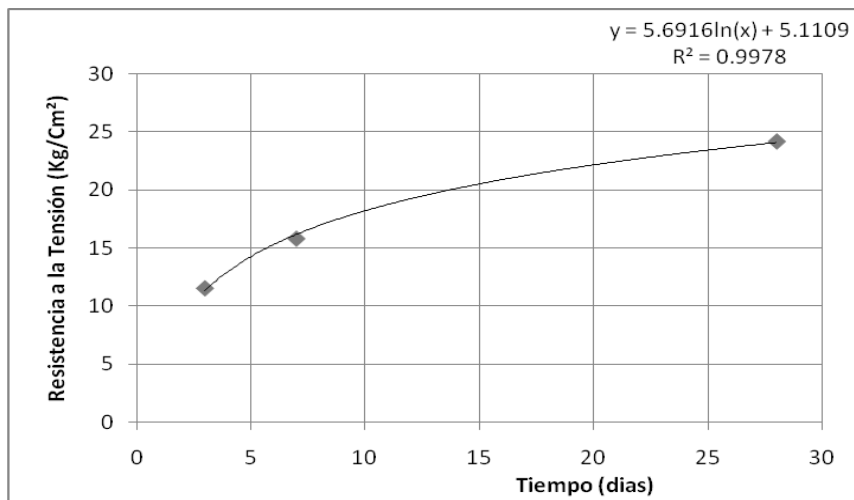
7.6 Ensayo de tensión:

7.6.1 Ensayo de tensión, diseño 1:

Tabla XXXIII. Resultados ensayo de tensión a tres edades convenientes efectuados al diseño 1

Edad	Muestra No.	Área prom.	Carga max.	σ Tensión	σ Tensión prom.
3 días	1	1.00 pulg ²	167.00 lb	11.74 Kg/Cm ²	11.58 kg/Cm ²
	2	1.00 pulg ²	160.00 lb	11.25 Kg/Cm ²	
	3	1.00 pulg ²	167.00 lb	11.74 Kg/Cm ²	
7 días	4	1.00 pulg ²	223.00 lb	15.68 Kg/Cm ²	15.84 kg/Cm ²
	5	1.00 pulg ²	208.00 lb	14.62 Kg/Cm ²	
	6	1.00 pulg ²	245.00 lb	17.23 Kg/Cm ²	
28 días	7	1.00 pulg ²	363.00 lb	25.52 Kg/Cm ²	24.21 kg/Cm ²
	8	1.00 pulg ²	340.00 lb	23.90 Kg/Cm ²	
	9	1.00 pulg ²	330.00 lb	23.20 Kg/Cm ²	

Figura 37. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 1

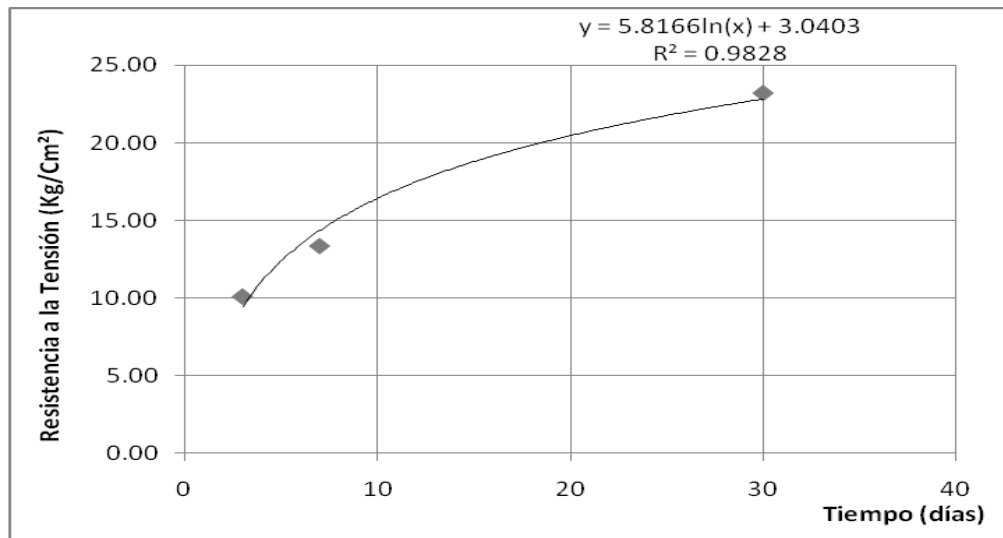


7.6.2 Ensayo de tensión, diseño 1N:

Tabla XXXIV. Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 1N

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Tensión	σ Tensión Prom.
3 días	1	1.00 pulg ²	150.00 lb	10.55 Kg/Cm ²	10.08 kg/Cm ²
	2	1.00 pulg ²	135.00 lb	9.49 Kg/Cm ²	
	3	1.00 pulg ²	145.00 lb	10.19 Kg/Cm ²	
7 días	4	1.00 pulg ²	185.00 lb	13.01 Kg/Cm ²	13.34 kg/Cm ²
	5	1.00 pulg ²	195.00 lb	13.71 Kg/Cm ²	
	6	1.00 pulg ²	189.00 lb	13.29 Kg/Cm ²	
28 días	7	1.00 pulg ²	325.00 lb	22.85 Kg/Cm ²	23.20 kg/Cm ²
	8	1.00 pulg ²	335.00 lb	23.55 Kg/Cm ²	
	9	1.00 pulg ²	330.00 lb	23.20 Kg/Cm ²	

Figura 38. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 1N

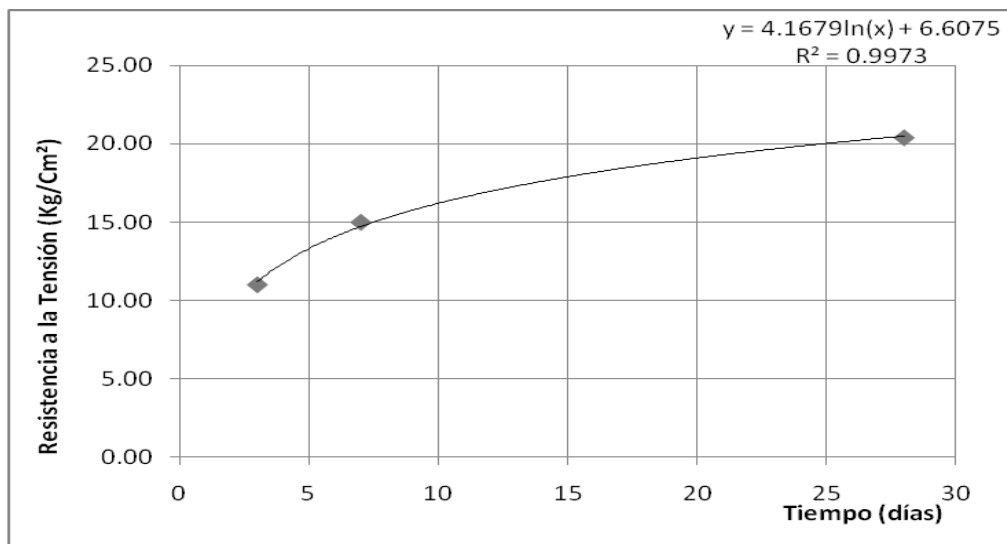


7.6.3 Ensayo de tensión, diseño 5N:

Tabla XXXV. Resultado ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 5N

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Tensión	σ Tensión Prom.
3 días	1	1.00 pulg ²	135.00 lb	9.49 Kg/Cm ²	11.01 kg/Cm ²
	2	1.00 pulg ²	165.00 lb	11.60 Kg/Cm ²	
	3	1.00 pulg ²	170.00 lb	11.95 Kg/Cm ²	
7 días	4	1.00 pulg ²	220.00 lb	15.47 Kg/Cm ²	15.00 kg/Cm ²
	5	1.00 pulg ²	210.00 lb	14.76 Kg/Cm ²	
	6	1.00 pulg ²	210.00 lb	14.76 Kg/Cm ²	
28 días	7	1.00 pulg ²	280.00 lb	19.69 Kg/Cm ²	20.39 kg/Cm ²
	8	1.00 pulg ²	240.00 lb	16.87 Kg/Cm ²	
	9	1.00 pulg ²	350.00 lb	24.61 Kg/Cm ²	

Figura 39. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 5N

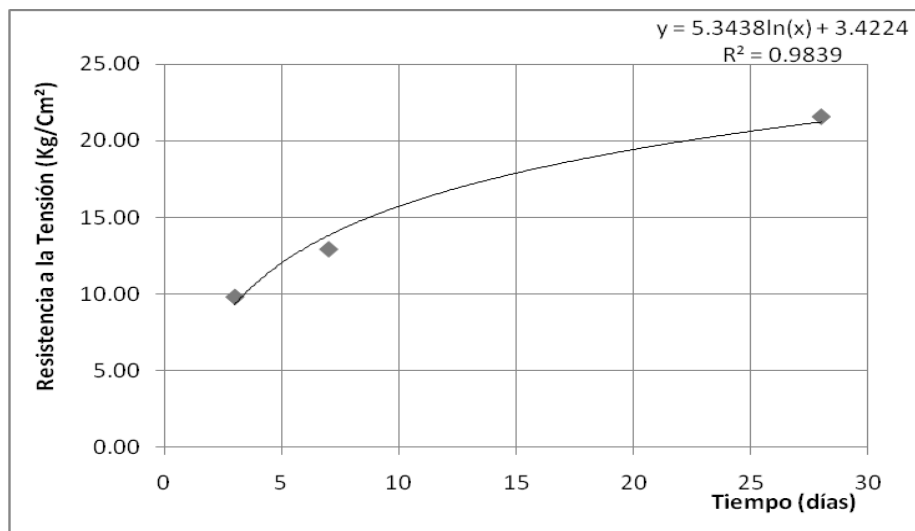


7.6.4 Ensayo de tensión, diseño 4:

Tabla XXXVI. Resultados ensayo de tensión a tres edades convenientes efectuados al diseño 4

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Tensión	σ Tensión Prom.
3 días	1	1.00 pulg ²	140.00 lb	9.84 Kg/Cm ²	9.84 kg/Cm ²
	2	1.00 pulg ²	140.00 lb	9.84 Kg/Cm ²	
	3	1.00 pulg ²	140.00 lb	9.84 Kg/Cm ²	
7 días	4	1.00 pulg ²	184.00 lb	12.94 Kg/Cm ²	12.94 kg/Cm ²
	5	1.00 pulg ²	184.00 lb	12.94 Kg/Cm ²	
	6	1.00 pulg ²	184.00 lb	12.94 Kg/Cm ²	
28 días	7	1.00 pulg ²	380.00 lb	26.72 Kg/Cm ²	21.56 kg/Cm ²
	8	1.00 pulg ²	290.00 lb	20.39 Kg/Cm ²	
	9	1.00 pulg ²	250.00 lb	17.58 Kg/Cm ²	

Figura 40. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 4

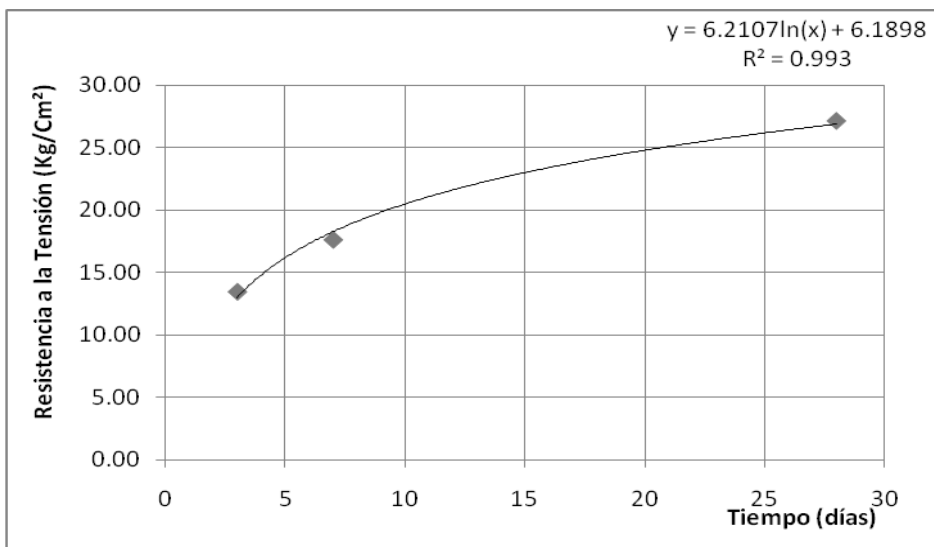


7.6.5 Ensayo de tensión, diseño 5:

Tabla XXXVII. Resultados ensayo de tensión a tres edades convenidas efectuados al diseño 5

Edad	Muestra No.	Área Prom.	Carga Max.	σ Tensión	σ Tensión Prom.
3 días	1	1.00 pulg ²	187.00 lb	13.15 Kg/Cm ²	13.43 kg/Cm ²
	2	1.00 pulg ²	191.00 lb	13.43 Kg/Cm ²	
	3	1.00 pulg ²	195.00 lb	13.71 Kg/Cm ²	
7 días	4	1.00 pulg ²	251.00 lb	17.65 Kg/Cm ²	17.60 kg/Cm ²
	5	1.00 pulg ²	250.00 lb	17.58 Kg/Cm ²	
	6	1.00 pulg ²	250.00 lb	17.58 Kg/Cm ²	
28 días	7	1.00 pulg ²	375.00 lb	26.37 Kg/Cm ²	27.14 kg/Cm ²
	8	1.00 pulg ²	395.00 lb	27.77 Kg/Cm ²	
	9	1.00 pulg ²	388.00 lb	27.28 Kg/Cm ²	

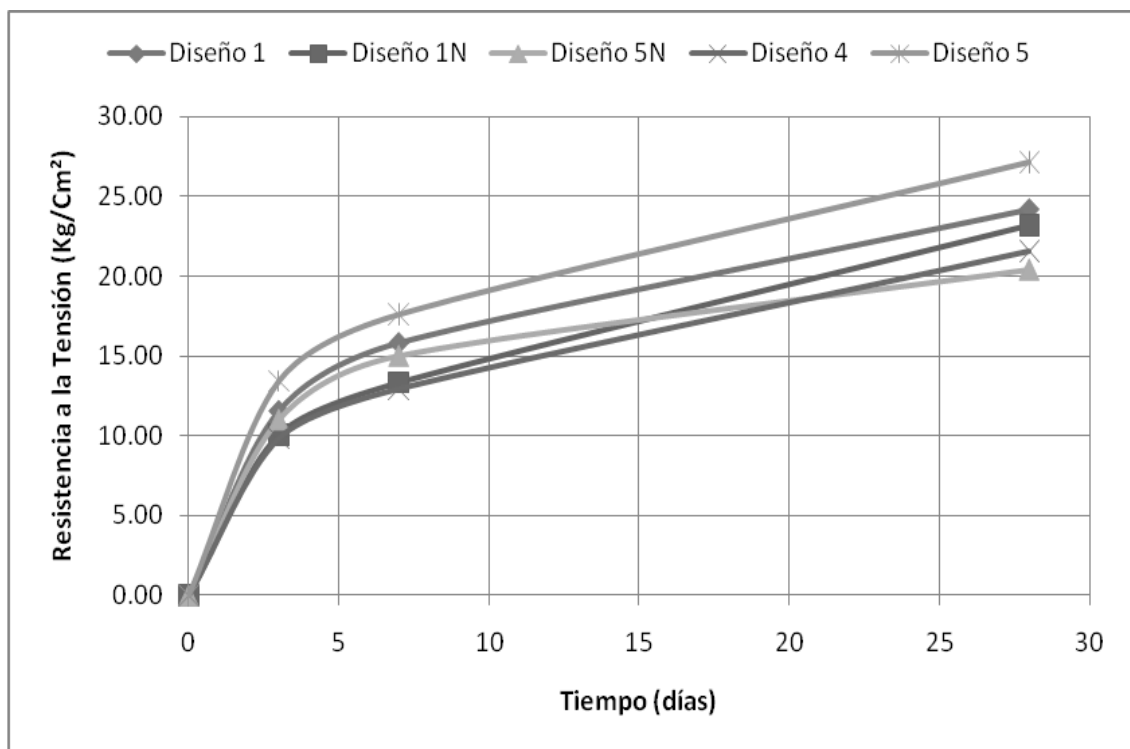
Figura 41. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo diseño 5



Aunque el resultado de la resistencia a tensión evaluada en los diseños propuestos, no tiene una incidencia considerable en la construcción de muros con elementos de mampostería, no está demás tomarla en cuenta, ya que representa un parámetro de la resistencia a la compresión que puede llegar a alcanzar el mortero.

A continuación se presenta un gráfico comparativo de la resistencia a la tensión de las dosificaciones propuestas.

Figura 42. Gráfica comparativa resistencia a la tensión vrs. tiempo de los cinco diseños propuestos



7.7 Ensayo de adherencia:

Para este ensayo, analizaremos por separado los muros elaborados con bloques de 35 kg/cm² (diseños 1 y 5) y los elaborados con bloques de 25 kg/cm² (diseños 1N, 5N y 4).

Tabla XXXVIII. Resistencia de adherencia en muros elaborados con los diseños propuestos

No. Diseño	Tipo de cemento	Tipo de block usado	Resistencia a esfuerzos de adherencia (28 días)		
			Fuerza equivalente aplicada presión última (lb)	Área de contacto (cm ²)	Esfuerzo último (kg/cm ²)
1	UGC	35 kg/cm ²	3,310.81	168.00	8.94
1N	pegablock	25 kg/cm ²	827.70	168.00	2.23
5N	pegablock	25 kg/cm ²	1,345.02	168.00	3.63
4	UGC	25 kg/cm ²	1,862.33	168.00	5.03
5	UGC	35 kg/cm ²	3,517.73	168.00	9.50

Figura 43. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la adherencia mortero-unidad efectuado a los diseños propuestos elaborados con bloques de 35 kg/cm²

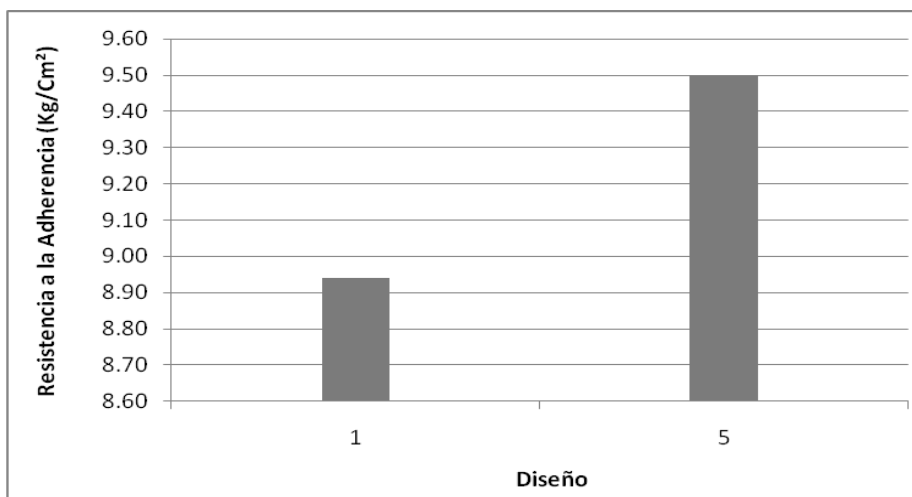
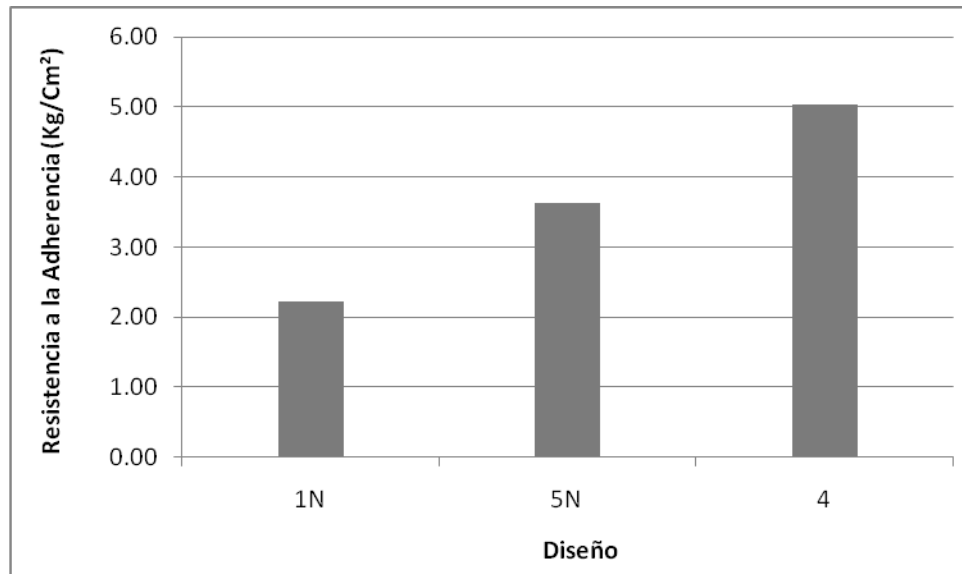


Figura 44. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la adherencia mortero-unidad efectuado a los diseños propuestos elaborados con bloques de 25 kg/cm²



Respecto a los muros fabricados con bloques de 35 kg/cm², el que presentó una resistencia a la adherencia mayor fue el diseño 5 seguido de cerca por el diseño 1, con valores de 9.50 y 8.94 kg/cm² respectivamente. Contradictoria a lo que dice la teoría, en este caso el diseño que no tiene cal en su proporción obtuvo mejores resultados en adherencia comparado con el diseño que presentaba adiciones de cal, aunque la diferencia no es significativa.

En el caso de los muros elaborados con bloques de 25 kg/cm² el que presentó mejores resultados en adherencia fue el diseño 4, como se puede recordar, esta proporción es la que posee un mayor contenido de cal, teniendo a ambos diseños elaborados con cemento pegablock con los valores más bajos en adherencia, siendo estos 3.63 kg/cm² para el diseño 5N y 2.23 kg/cm² para el diseño 1N.

7.8 Ensayo de compresión en prismas de mampostería:

Al igual que en los ensayos de adherencia, para este ensayo analizaremos por separado los muros elaborados con bloques de 35 kg/cm² (diseños 1 y 5) y los elaborados con bloques de 25 kg/cm² (diseños 1N, 5N y 4).

Tabla XXXIX. Resistencia a la compresión en muros elaborados con los diseños propuestos

No. Diseño	Tipo de Cemento	Tipo de block usado	Resistencia a esfuerzos de compresión (28 días)		
			Carga última (lb)	Área de contacto (cm ²)	ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)
1	UGC	35 kg/cm ²	37000.00	741.00	22.65
1N	pegablock	25 kg/cm ²	34000.00	741.00	20.81
5N	pegablock	25 kg/cm ²	22500.00	741.00	13.77
4	UGC	25 kg/cm ²	38500.00	741.00	23.57
5	UGC	35 kg/cm ²	35500.00	741.00	21.73

Figura 45. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la compresión de muros elaborados con bloques de 35 kg/cm²

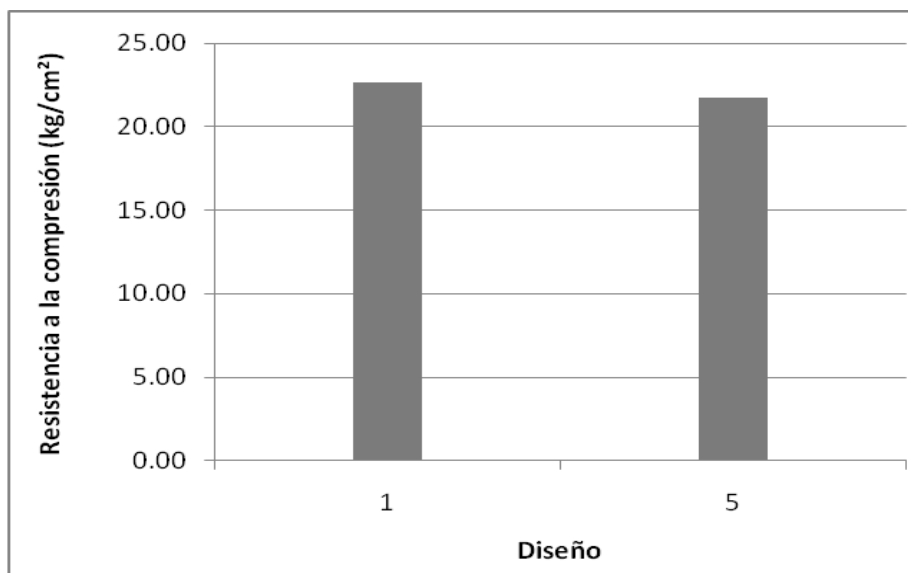
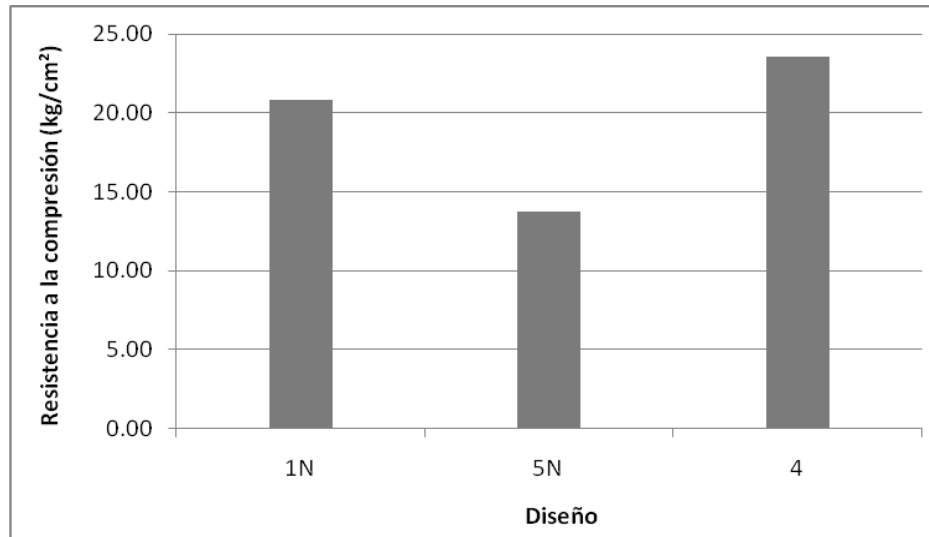


Figura 46. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a la compresión de muros elaborados con bloques de 25 kg/cm²



Para los muros elaborados con bloques de 35 kg/cm², se obtuvieron resistencias de 22.65 kg/cm² y 21.73 kg/cm² para los diseños 1 y 5 respectivamente. Como se puede apreciar, la proporción que contiene adiciones de cal, posee un pequeño aumento de resistencia respecto al diseño 5, el cual no contiene cal en su proporción.

Observando los resultados obtenidos en los muros elaborados con bloques de 25 kg/cm², se puede observar que la proporción que presentó una mejor resistencia a la compresión es el diseño 4, con un valor de 23.57 kg/cm² seguido por el diseño 1N y el diseño 5N con valores de 20.81 kg/cm² y 13.77 kg/cm². De nuevo se puede apreciar que los morteros con mayores adiciones de cal son los que resisten valores de esfuerzos en compresión mayores.

7.9 Ensayo de corte en prismas de mampostería:

Para este ensayo, debemos evaluar por separado los muros elaborados con bloques de 35 kg/cm² (diseños 1 y 5) y los elaborados con bloques de 25 kg/cm² (diseños 1N, 5N y 4).

Tabla XL. Resistencia a esfuerzos cortante en muros elaborados con los diseños propuestos

No. Diseño	Tipo de Cemento	Tipo de block usado	Resistencia a esfuerzos cortantes (28 días)		
			Distancia diagonal del muro (cm)	Área de contacto (cm ²)	Esfuerzo último (kg/cm ²)
1	UGC	35 kg/cm ²	70.70	989.80	1.60
1N	pegablock	25 kg/cm ²	70.70	989.80	2.06
5N	pegablock	25 kg/cm ²	70.70	989.80	2.29
4	UGC	25 kg/cm ²	70.70	989.80	1.83
5	UGC	35 kg/cm ²	70.70	989.80	1.60

Figura 47. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a esfuerzos cortantes en muros elaborados con bloques de 35 kg/cm²

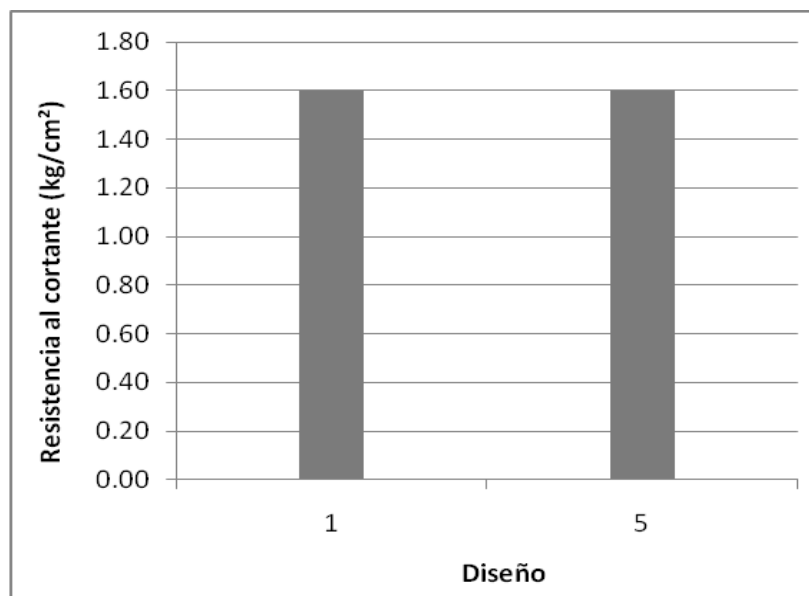
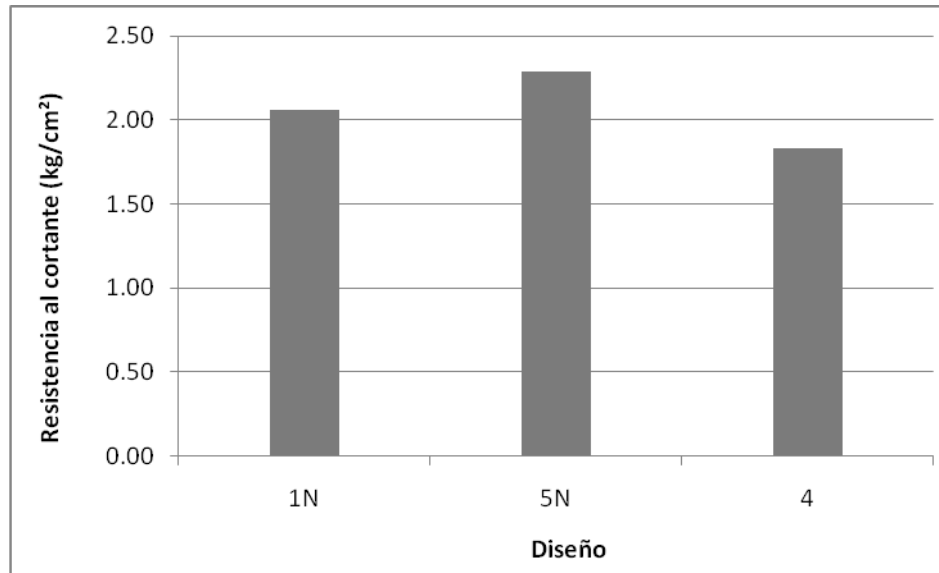


Figura 48. Gráfica comparativa ensayo de resistencia a esfuerzos cortantes en muros elaborados con bloques de 25 kg/cm²



Los muros elaborados con bloques de 35 kg/cm², obtuvieron una resistencia al cortante de 1.60 kg/cm² tanto en el diseño 1 como en el diseño 5.

Con los muros de 25 kg/cm², se pueden observar mejores resistencias al cortante con valores de 2.29 kg/cm² para el diseño 5N, 2.06 kg/cm² para el diseño 1N y 1.83 kg/cm² para el diseño 4.

De acuerdo a los datos observados en la tabla XLI, se puede observar que los morteros con cemento pegablock obtienen una resistencia al cortante superior relacionado con los morteros elaborados con cemento UGC.

7.10 Relaciones esfuerzo de compresión de los morteros / esfuerzo cortante en prismas de mampostería:

Tabla de relaciones entre el esfuerzo de compresión en morteros y los esfuerzos cortantes en prismas de mampostería.

Tabla XLI. Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm²

No. Diseño	Proporciones					Esfuerzo compresión del mortero (kg/cm ²) [A]	Esfuerzo cortante prismas de mampostería (kg/cm ²) [B]	Relación [B]/[A]
	Tipo de cemento usado	C	Cal	Ar	Rel. A/C			
1	UGC	1	0.25	3.13	0.88	130.59	1.60	0.012252
5	UGC	1	0.00	3.00	0.74	172.63	1.60	0.009300

Figura 49. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm²

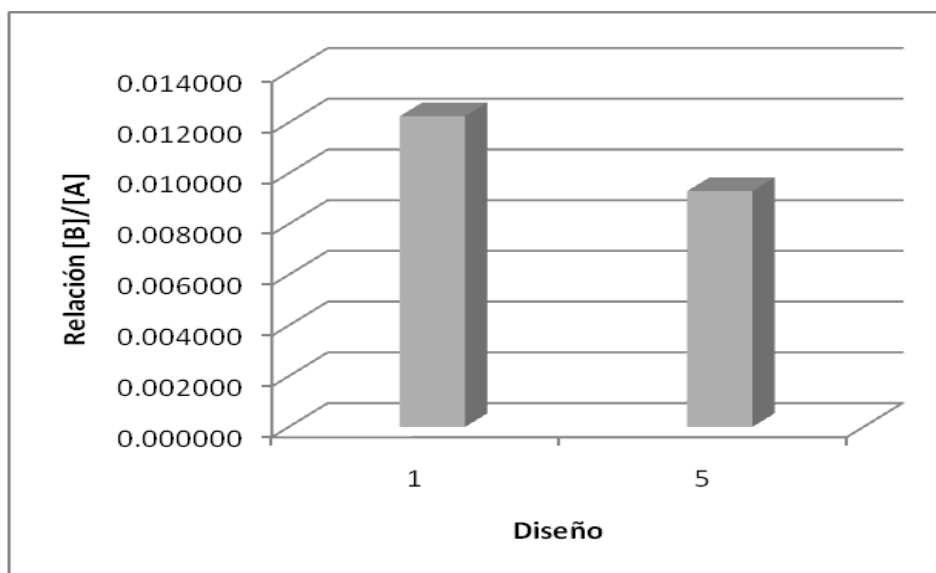
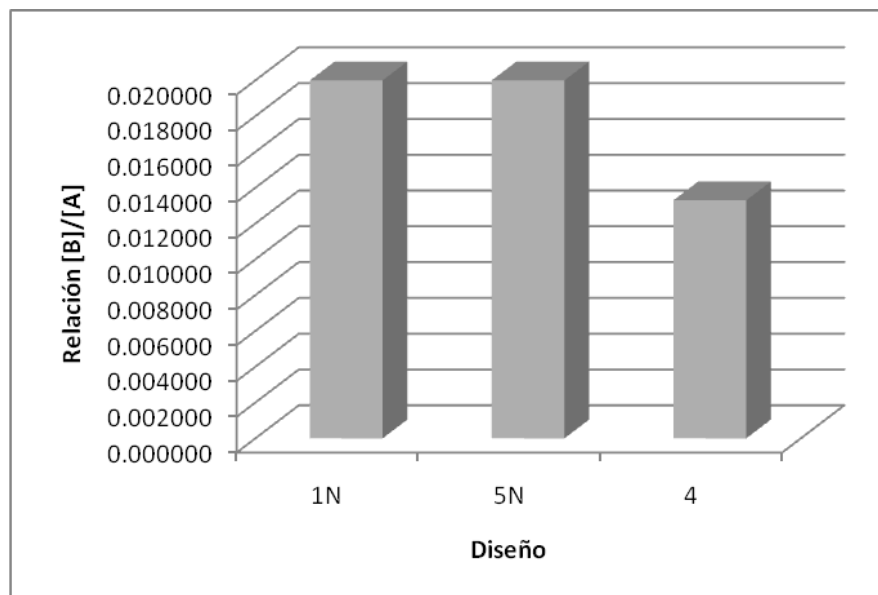


Tabla XLII. Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm²

No. Diseño	Proporciones					Esfuerzo compresión del mortero (kg/cm ²) [A]	Esfuerzo cortante prismas de mampostería (kg/cm ²) [B]	Relación [B]/[A]
	Tipo de cemento usado	C	Cal	Ar	Rel. A/C			
1N	pegablock	1	0.25	3.13	1.01	108.24	2.06	0.020000
5N	pegablock	1	0.00	3.00	0.91	121.16	2.29	0.020000
4	UGC	1	0.50	3.50	1.01	137.82	1.83	0.013300

Figura 50. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo cortante en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm²



7.11 Relaciones esfuerzo de compresión en morteros / esfuerzo de compresión en prismas de mampostería:

Tabla de relaciones entre el esfuerzo de compresión en morteros y los esfuerzos de compresión en prismas de mampostería.

Tabla XLIII. Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm²

No. Diseño	Proporciones					Esfuerzo compresión bloques de mortero (kg/cm ²) [C]	Esfuerzo compresión prismas de mampostería (kg/cm ²) [D]	Relación [D]/[C]
	Tipo de cemento usado	C	Cal	Ar	Rel. A/C			
1	UGC	1	0.25	3.13	0.88	130.59	22.65	0.173444
5	UGC	1	0.00	3.00	0.74	172.63	21.73	0.125900

Fuente: Propia

Figura 51. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm²

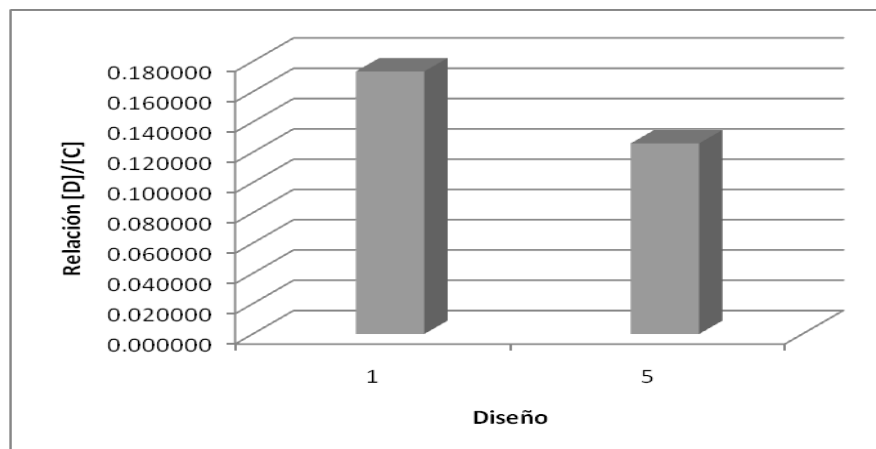
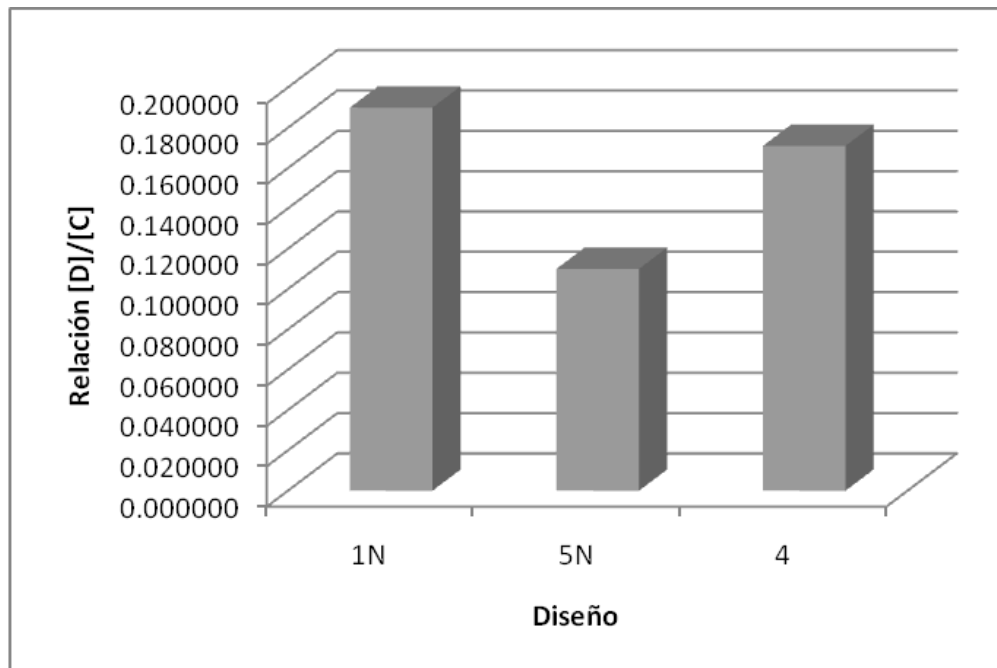


Tabla XLIV. Relación esfuerzo de compresión en morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm²

No. Diseño	Proporciones					Esfuerzo compresión bloques de mortero (kg/cm ²) [C]	Esfuerzo compresión prismas de mampostería (kg/cm ²) [D]	Relación [D]/[C]
	Tipo de cemento usado	C	Cal	Ar	Rel. A/C			
1N	pegablock	1	0.25	3.13	1.01	108.24	20.81	0.190000
5N	pegablock	1	0.00	3.00	0.91	121.16	13.77	0.110000
4	UGC	1	0.50	3.50	1.01	137.82	23.57	0.171000

Figura 52. Gráfica comparativa esfuerzo de compresión morteros/esfuerzo de compresión en prismas de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm²



CONCLUSIONES

1. Las proporciones diseñadas en morteros que contienen cal, obtienen mejores resultados respecto a la retención de agua, comparados con aquellos que no contienen adiciones de este material, retrasando el inicio de su fraguado y aumentando su tiempo en estado plástico.
2. Los morteros elaborados con adiciones de cal en su proporción, cumplen con los requerimientos mínimos establecidos en la norma ASTM-270 para retención de agua (75%)
3. Los morteros elaborados con cemento pegablock (norma ASTM C-91) obtienen una mayor densidad, sobre los morteros elaborados con cemento UGC (norma ASTM C-1157), tendencia que se comprueba al comparar los morteros con adición de cal contra aquellos que no contienen dicho material en su proporción.
4. El tiempo de fraguado inicial se retarda en morteros con adiciones de cal.
5. La resistencia a la compresión en morteros con adiciones de cal disminuye a edades tempranas.
6. La utilización de cal en los morteros, disminuye la adherencia entre este y la unidad de mampostería, esto se debe a la incidencia del contenido de humedad que presente la unidad de mampostería al momento de elaborar el muro.

7. La resistencia a la compresión en muros de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm² y 25 kg/cm², es superior cuando se usan morteros con adiciones de cal en su proporción, no siendo así, cuando los morteros no contienen cal.
8. Los factores de reducción de resistencia en cortante y en compresión para muros de mampostería elaborados con bloques de 35 kg/cm² aumentan con el incremento de cal en las proporciones de los morteros utilizadas para su levantado.
9. Los factores de reducción de resistencia en cortante para muros de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm² aumentan cuando se utiliza cemento pegablock como aglomerante.
10. Los factores de reducción de resistencia en compresión para muros de mampostería elaborados con bloques de 25 kg/cm² aumentan con el incremento de cal en las proporciones de los morteros utilizadas para su levantado.
11. Las proporciones que demostraron mejores características para su uso en morteros de levantado son la proporción 1 (1:0.25:3.13) y la proporción 4 (1:0.50:3.50) elaboradas con cemento UGC.

RECOMENDACIONES

1. Adicionar cal entre un 25% a 50%, para mejorar la trabajabilidad en morteros realizados con cementos UGC.
2. Utilizar morteros con adiciones de cal en la construcción de edificaciones, esto debido a su menor masa unitaria.
3. Para evitar microfisuras en el mortero, este no debe sufrir movimientos luego de ser colocado ya que estas representan puntos donde fallará la cisa al momento de someterse a cargas de servicio.
4. Realizar un análisis granulométrico de los materiales a utilizar en la elaboración de morteros, siendo de suma importancia para evitar que afecte las propiedades físicas y mecánicas del mortero a usar.
5. El agua a utilizar en los morteros no debe tener químicos ni agentes externos a su composición que puedan ocasionar que el mortero disminuya su resistencia.
6. Para construcciones de muros sin cargas estructurales considerables pueden utilizarse proporciones con cantidades pobres de aglomerantes o utilizar cementos pegablock, debido a las pocas exigencias a compresión y cortante que estos tienen.

7. Para mejores resultados en la construcción de muros con elementos de mampostería se deberá humedecer los bloques de mampostería con 24 hrs de anticipación.
8. Debe tenerse un adecuado control de calidad con las juntas verticales y horizontales entre el mortero y la unidad de mampostería, para evitar fallas en estas zonas.
9. Se debe tomar en consideración la calidad del elemento de mampostería a utilizar para esta no influya en la resistencia de los muros de mampostería.
10. Para mejores resultados al momento de realizar otras dosificaciones o utilizar otro tipo de mampostería, se recomienda realizar los ensayos de diseño de mezclas de acuerdo a la norma COGUANOR NGO 41 003 h4.
11. Se recomienda utilizar para muros de mampostería que resistan cargas la proporción 1 (1:0.25:3.13) y para edificaciones donde se necesiten muros con peso liviano, utilizar la proporción 4 (1:0.50:3.50) debido a su menor masa unitaria.

BIBLIOGRAFÍA

1. O. Gallo, Gabriel; I. Espino, Luís; E. Olvera, Alfonso. Diseño estructural de casas habitación, p.p. 11-65.
2. García, José Luís. Manual Técnico de Construcción, p.p. 91-93
3. Sabá Medrano, Carlos Eduardo. Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería, trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, marzo de 2006, 125 p.p.
4. Gómez Con, Sergio Gabriel. Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz, trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, marzo de 2006, 89 p.p.
5. COGUANOR. Normas relacionadas con la industria de la construcción. Guatemala, S. A.
6. Amrhein, James E. Guía informativa para mampostería reforzada con lechada, 30 p.p.
7. Quiñonez, Francisco Javier. Instructivo de laboratorio de materiales de construcción, 98 p.p.
8. ASTM *Book of standards*. USA: Vols. 4.01 y 4.02 2003

9. Felipe Guarán, Juan Francisco. evaluación del uso y desempeño de cementos mezclados ugc y mampostería en morteros de levantado, trabajo de graduación Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, junio de 2008, 105 p.p.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. Concreto Online,
http://www.concretonline.com/index2.php?option=comcontent&do_pdf=1&id=209
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 19:51 hrs.
2. Arquitectuba,
<http://www.arquitectuba.com.ar/monografias-de-arquitectura/cemento-portland-usos-y-aplicaciones/>
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 13:56 hrs.
3. Cementos Progreso,
http://www.cementosprogreso.com/main.php?id=75&show_item=1&id_area=116
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 13:25 hrs.

http://www.cementosprogreso.com/main.php?id=141&show_item=1&id_area=116
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 13:36 hrs.
4. Universidad Católica de Chile,
<http://www.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/TECNOLOGIA%201.htm>
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 21:11 hrs.
5. Wikipedia,
<http://es.wikipedia.org/wiki/Ladrillo>
Fecha de consulta: 21 febrero 2009 23:51 hrs.

6. Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería,

<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/DISTRITO%20FEDERAL/Normas/DFNORM10.pdf>

Fecha de Consulta: 14 mayo 2009 20:37 hrs.

ANEXOS

Figura 53. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros propuestos con cemento UGC



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



Nº 009433

Informe No. S.C. - 1126
HOJA 1/2

O.T. No. 25276

Interesado: José Mauricio Arriola Donis Carné No. 200516120
Proyecto: Trabajo de Graduación "Diseño de Morteros con Cementos Hidráulicos Para la Construcción de Muros con Elementos de Mampostería"
Asunto: Determinación de trabajabilidad en campo.
Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403)
Ensayo de retención de agua
Diseño de mezclas y resistencia a compresión y tensión a 3, 7 y 28 días. (ASTM C-109)
Fecha: 19 de Octubre de 2009

I. RESULTADOS:

DISEÑOS DE LABORATORIO						
Ensayo		Diseño No. 1	Diseño No. 4	Diseño No. 5		
Proporción (Cemento:Arena:Cal)		1:3.13:0.25	1:3.50:0.50	1:3		
Relación A/C		0.88	1.01	0.74		
Retención de Agua (%)		84.51%	80.09%	39.55%		
Trabajabilidad (mm)		52.00	52.50	40.10		
Masa Unitaria (kg/m ³)		2,401.25	2,037.88	2,045.25		
Velocidad de Endurecimiento (min)		Inicial: 185	Inicial: 412	Inicial: 73		
		Final: 615	Final: 739	Final: 395		
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) (PSI)	3 días	(45.73) (650.43)	(46.24) (657.69)	(62.91) (894.79)		
	7 días	(70.27) (999.47)	(65.36) (929.63)	(116.90) (1,662.70)		
	28 días	(130.59) (1,857.42)	(137.82) (1,960.25)	(172.63) (2,455.37)		
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²) (PSI)	3 días	(11.58) (164.71)	(9.84) (139.96)	(13.43) (191.02)		
	7 días	(15.84) (225.30)	(12.94) (184.05)	(17.60) (250.33)		
	28 días	(24.21) (344.35)	(21.56) (306.65)	(27.14) (386.02)		

II. OBSERVACIONES: Cemento utilizado en los diseños: UGC 3000 PSI.

Atentamente,

Vo. Bo.

Inga. Telma Marcela Candamora
Directora CII USAC



Inga. Dilma Yanet Mejicanos Joy
Jefa Sección Aglomerantes y Morteros

EMG

**Figura 54. Informe de la Sección de Aglomerantes y Morteros del CII
USAC, caracterización físico-mecánica de los morteros
propuestos con cemento pegablock**



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



Nº 009436

Informe No. S.C. - 1126
HOJA 2/2

O.T. No. 25276

Interesado: José Mauricio Arriola Donis Carné No. 200516120
Proyecto: Trabajo de Graduación "Diseño de Morteros con Cementos Hidráulicos Para la Construcción de Muros con Elementos de Mampostería"
Asunto: Determinación de trabajabilidad en campo.
 Velocidad de endurecimiento (ASTM C-403)
 Ensayo de retención de agua
 Diseño de mezclas y resistencia a compresión y tensión a 3, 7 y 28 días. (ASTM C-109)
Fecha: 19 de Octubre de 2009

I. RESULTADOS:

DISEÑOS DE LABORATORIO					
Ensayo		Diseño No. 1N		Diseño No. 5N	
Proporción (Cemento:Arena:Cal)		1:3.13:0.25		1:3	
Relación A/C		1.01		0.91	
Retención de Agua (%)		54.29%		41.98%	
Trabajabilidad (mm)		54.00		51.00	
Masa Unitaria (kg/m ³)		2,067.00		2,332.75	
Velocidad de Endurecimiento (min)		Inicial:	348	Inicial:	281
		Final:	833	Final:	772
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²) (PSI)	3 días	(21.96) (312.34)		(25.19) (358.14)	
	7 días	(51.09) (726.67)		(48.18) (685.28)	
	28 días	(108.24) (1,539.53)		(121.16) (1,723.29)	
Resistencia a la Tensión (kg/cm ²) (PSI)	3 días	(10.08) (143.37)		(11.01) (156.60)	
	7 días	(13.34) (189.74)		(15.00) (213.35)	
	28 días	(23.20) (329.98)		(20.39) (290.01)	

II. OBSERVACIONES: Cemento utilizado en los diseños: PegaBlock 3000 PSI.

Atentamente,

Vo. Bo.
 Inga. Telma Maricela Carrero Morales
 Directora CII/USAC



Inga. Dilma Yarey Mejicanos Jol
 Jefa Sección Aglomerantes y Morteros

EMG

Figura 55. Informe de la sección de estructuras, hoja 1/4. Generalidades y ensayos realizados



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



Nº 005240

Informe No. Muros de Mampostería

O.T. 26329

Hoja 1/4

INTERESADO: José Mauricio Arriola Donis
ASUNTO: Ensayo Muros de Prisma
FECHA: OCTUBRE DE 2009

GENERALIDADES

Se procedió a realizar el ensayo de 15 prismas, esto debido a los 5 diferentes diseños de proporciones dadas por el interesado. Para cada proporción realizada, se elaboraron 3 prismas, para ser ensayados a corte, compresión y por adherencia. Los prismas ensayados fueron elaborados con block pómez de 25 y 35 kg/cm², los materiales utilizados para la elaboración de la mezcla fueron: Cemento del tipo UGC y PEGABLOCK, arena triturada y cal; esto dependiendo del tipo de proporción para cada prisma.

ENSAYOS REALIZADOS

ENSAYO DE PRISMA A CORTE

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El prisma es colocado de tal forma que el vértice inferior quede alineado con el vértice superior opuesto, y esto se logra con el uso de esquineras que permiten crear estas condiciones; el prisma es colocado en una prensa hidráulica con capacidad de 150000 libras; aplicándole la carga en intervalos de 1000 libras para determinar la carga máxima que soporta.

ENSAYO DE PRISMA A COMPRESIÓN

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El prisma es colocado horizontalmente de tal forma que se le aplicó una carga uniformemente distribuida simulando la acción de cargas a que será sometido, aplicando para este efecto esfuerzos axiales de compresión por medio de una prensa hidráulica con capacidad de 150,000 libras. Se aplicó la carga en intervalos de 1000 libras para determinar la carga máxima que soporta.

Figura 56. Informe de la sección de estructuras, hoja 2/4: Descripción de las proporciones a usar



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



Nº 005241

Informe No. Muros de Mampostería

O.T. 26329

Hoja 2/4

ENSAYO DE PRISMA A ADHERENCIA

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El prisma es colocado dentro de un marco de acero diseñado para determinar las características deseadas; el marco permite utilizar un gato hidráulico verticalmente, el cual nos permite mediante una carga moderada estabilizar el prisma, también son utilizados dos gatos en posición horizontal que permiten aplicar carga hasta llegar a un valor en el que el mortero utilizado para la elaboración del prisma falle; en cada gato es utilizada una placa de acero entre el pistón y el prisma que permite distribuir de manera uniforme la carga.

DESCRIPCIÓN DE LAS PROPORCIONES

No. Diseño	Tipo De Cemento	PROPORCIONES				Tipo de Block a Usar
		Cemento	Cal	Arena	Rel. A/C	
1	UGC	1	0.25	3.13	0.88	35 kg/cm ²
1N	PEGABLOCK	1	0.25	3.13	1.01	25 kg/cm ²
5N	PEGABLOCK	1	0.00	3.00	0.91	25 kg/cm ²
4	UGC	1	0.50	3.50	1.01	25 kg/cm ²
5	UGC	1	0.00	3.00	0.74	35 kg/cm ²

Figura 57. Informe de la sección de estructuras, hoja 3/4. Análisis de resultados esfuerzos cortantes y de compresión



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



Nº 005242

Informe No. Muros de Mampostería

O.T. 26329

Hoja 3/4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

No. DISEÑO	Tipo De Cemento	Resistencia a Esfuerzos CORTANTES (28 Días)								
		Carga Primera Falla (Lb.)	Carga Última (Lb.)	Distancia Diagonal del Muro (cm.)	Espesor del Muro (cm.)	Área de Contacto (cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (kg/cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (psi)	Esfuerzo Último (kg/cm ²)	Esfuerzo Último (psi)
1	UGC	-	3500.00	70.70	14.00	989.80	0.00	0.00	1.60	22.81
1N	PEGABLOCK	-	4500.00	70.70	14.00	989.80	0.00	0.00	2.06	29.33
5N	PEGABLOCK	-	5000.00	70.70	14.00	989.80	0.00	0.00	2.29	32.59
4	UGC	-	4000.00	70.70	14.00	989.80	0.00	0.00	1.83	26.07
5	UGC	-	3500.00	70.70	14.00	989.80	0.00	0.00	1.60	22.81

No. DISEÑO	Tipo De Cemento	Resistencia a Esfuerzos de COMPRESIÓN (28 Días)						
		Carga Primera Falla (Lb)	Carga Última (Lb)	Área de Contacto (Cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (kg/cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (psi)	Esfuerzo Último (kg/cm ²)	Esfuerzo Último (psi)
1	UGC	-	37000.00	741.00	0.00	0.00	22.65	322.14
1N	PEGABLOCK	33500.00	34000.00	741.00	20.51	291.67	20.81	296.02
5N	PEGABLOCK	21000.00	22500.00	741.00	12.85	182.84	13.77	195.90
4	UGC	24000.00	38500.00	741.00	14.69	208.96	23.57	335.20
5	UGC	31500.00	35500.00	741.00	19.28	274.26	21.73	309.08

Figura 58. Informe de la sección de estructuras, hoja 4/4. Análisis de resultados esfuerzo de adherencia



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



Nº 005243

Informe No. Muros de Mampostería

O.T. 26329

Hoja 4/4

No. DISEÑO	Tipo De Cemento	Resistencia a Esfuerzos de ADHERENCIA (28 Días)									
		Presión Primera Falla (psi)	Presión Última (psi)	Área del Gato (cm ²)	Fuerza Equivalente Aplicada Primera Falla (Lb.)	Fuerza Equivalente Aplicada Presión Última (Lb.)	Área de Contacto (Cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (kg/cm ²)	Esfuerzo Primera Falla (psi)	Esfuerzo Último (kg/cm ²)	Esfuerzo Último (psi)
1	UGC	-	1600.00	13.35	-	3,310.81	168.00	0.00	0.00	8.94	127.14
1N	PEGABLOCK	-	400.00	13.35	-	827.70	168.00	0.00	0.00	2.23	31.79
5N	PEGABLOCK	-	650.00	13.35	-	1,345.02	168.00	0.00	0.00	3.63	51.65
4	UGC	-	900.00	13.35	-	1,862.33	168.00	0.00	0.00	5.03	71.52
5	UGC	1300.00	1700.00	13.35	2690.03	3,517.73	168.00	7.26	103.30	9.50	135.09

**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN ESTRUCTURAS
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, C.A.**

Mario Rodolfo Corzo Ávila
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Sección de Estructuras

Vo.Bo.

Teima Maricela Cano Morales
Inga. Qca. Teima Maricela Cano Morales
Directora CII