



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

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON
CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS
COGUANOR NTG 41095 Y 41096**

Diana María Militza Mérida González

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, octubre de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON
CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS
COGUANOR NTG 41095 Y 41096**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

DIANA MARÍA MILITZA MÉRIDA GONZÁLEZ
ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Daniel Alfredo Cruz Pineda
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS COGUANOR NTG 41095 Y 41096

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de mayo de 2017.



Diana María Militza Mérida González



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



Guatemala, 19 de julio de 2018

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

Ingeniero Ordoñez

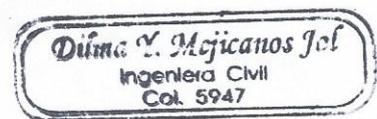
Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS COGUANOR NTG 41095 Y 41096**, elaborado con la estudiante universitaria Diana María Militza Mérida González, quien contó con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Mérida González, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
 17 de agosto de 2018

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS COGUANOR NTG 41095 Y 41096** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Diana María Militza Mérida González quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

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



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/mrrm.



Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua



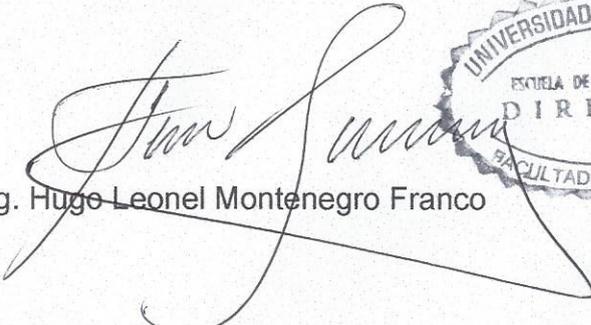
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. José Gabriel Ordóñez Morales, al trabajo de graduación de la estudiante Diana María Militza Mérida González RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS COGUANOR NTG 41095 Y 41096 da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2018

/mmm.

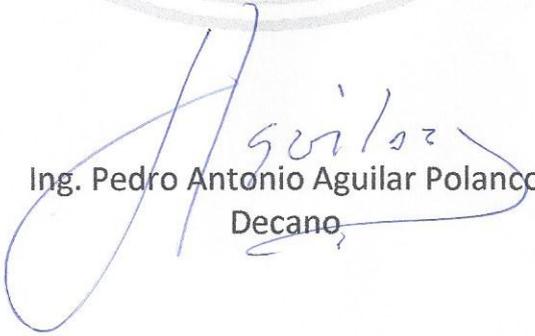


Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



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: **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MORTEROS DE PEGA, ELABORADOS CON CEMENTOS PORTLAND I PM Y DE MAMPOSTERÍA TIPO S, SEGÚN NORMAS COGUANOR NTG 41095 Y 41096**, presentado por la estudiante universitaria: **Diana María Militza Mérida González**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme fuerzas para seguir con cada prueba presente durante mi carrera.
- Mis padres** Diana González de Mérida y Luis Fernando Mérida, por guiarme y apoyarme a lo largo de mi carrera.
- Mi hermano** José Alejandro Mérida, por su apoyo incondicional.
- Mis tías** Carla González y Dacia González, por alentarme a culminar mis estudios.
- Mi novio** Axel Mazariegos, por su amor y ánimos durante la carrera.
- Mis amigos** Por acompañarme y apoyarme a lo largo de la carrera.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser el lugar donde adquirí conocimientos para mi desarrollo profesional.

Mi asesora Inga. Dilma Mejicanos, por guiarme durante mi investigación.

Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería Por su colaboración.

1.2.5.	Propiedades mecánicas	13
1.2.5.1.	Resistencia a la compresión.....	13
1.2.5.2.	Resistencia de adherencia	14
1.2.5.3.	Resistencia a la flexión.....	14
1.2.6.	Características físicas	15
1.2.6.1.	Características en estado fresco	15
1.2.6.1.1.	Consistencia.....	15
1.2.6.1.2.	Trabajabilidad.....	15
1.2.6.1.3.	Flujo	16
1.2.6.1.4.	Tiempo de fraguado	16
1.2.6.1.5.	Retracción	17
1.2.6.2.	Características en estado endurecido.....	17
1.2.6.2.1.	Porosidad	17
1.2.6.2.2.	Rigidez y resistencia mecánica.....	18
1.2.6.2.3.	Adherencia	18
1.2.6.2.4.	Permeabilidad	19
1.2.6.2.5.	Durabilidad	19
1.2.7.	Normas aplicables a morteros de levantado	19
1.3.	Mampostería	20
1.3.1.	Definición.....	20
1.3.2.	Tipos de mampostería.....	21
1.3.2.1.	Ladrillos de barro cocido	21
1.3.2.2.	Bloques de concreto.....	22
1.3.3.	Sistemas de mampostería.....	24
1.3.3.1.	Mampostería sin refuerzo	24
1.3.3.2.	Mampostería reforzada interiormente ..	25
1.3.3.3.	Mampostería confinada	26

1.3.4.	Propiedades mecánicas	27
1.3.4.1.	Resistencia a la compresión	27
1.3.4.2.	Resistencia a la compresión diagonal	29
1.3.4.3.	Resistencia al aplastamiento	29
1.3.4.4.	Resistencia a la tensión	30
1.3.4.5.	Módulo de elasticidad	30
1.3.4.6.	Módulo cortante	30
1.3.5.	Fallas en estructuras de mampostería.....	31
1.3.6.	Normas aplicables a bloques de concreto	33
1.4.	Especificaciones generales de análisis y diseño para estructuras de mampostería	34
1.4.1.	Criterios de diseño	34
1.4.2.	Métodos de análisis	35
1.4.2.1.	Diseño por esfuerzos admisibles o esfuerzos de trabajo	35
1.4.2.2.	Diseño por factor de carga y de resistencia.....	36
1.4.2.3.	Diseño por resistencia	36
1.5.	Deficiencia en estructuras de mampostería.....	36
1.5.1.	Distribución arquitectónica.....	36
1.5.2.	Materiales empleados.....	38
1.5.3.	Calidad constructiva	38
2.	ENSAYOS DE LABORATORIO	41
2.1.	Caracterización de agregados finos	41
2.1.1.	Granulometría y módulo de finura, según norma NTG 41 010 h1 (ASTM C-136)	41

2.1.2.	Sustancias perjudiciales, según norma NTG 41 031 (ASTM C-144)	43
2.1.3.	Impurezas orgánicas, según norma NTG 41 010 h4 (ASTM C-40)	44
2.1.4.	Estabilidad a la disgregación de los agregados por sulfatos, según norma NTG 41 010 h6 (ASTM C-88)	45
2.1.5.	Densidad relativa y porcentaje de absorción, según norma NTG 41 010 h9 (ASTM C-128).....	46
2.1.6.	Densidad aparente e índice de vacíos, según norma NTG 41 010 h2 (ASTM C29).....	46
2.1.7.	Material más fino que el tamiz No. 200, según norma NTG 41 010 h3 (ASTM C-117).....	47
2.2.	Morteros	48
2.2.1.	Determinación del flujo, según norma NTG 41 003 h13 (ASTM C-117)	48
2.2.2.	Retención de agua, según norma ASTM C-1506....	49
2.2.3.	Resistencia a la compresión, según norma NTG 41 003 h4 (ASTM C-109)	49
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	53
3.1.	Caracterización de agregados finos	54
3.1.1.	Granulometría	54
3.1.2.	Impurezas orgánicas	57
3.1.3.	Estabilidad a la disgregación de los agregados por sulfatos.....	58
3.1.4.	Densidad relativa y porcentaje de absorción.....	60
3.1.5.	Densidad aparente e índice de vacíos	63
3.1.6.	Material más fino que el tamiz No. 200	66

3.2.	Morteros	66
3.2.1.	Determinación del flujo	67
3.2.2.	Retención de agua.....	68
3.2.3.	Resistencia a la compresión	70
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	77
4.1.	Resultados obtenidos y gráficas.....	77
4.1.1.	Agregado fino	77
4.1.2.	Morteros de pega.....	80
4.2.	Análisis y comparación de resultados	85
4.2.1.	Agregado fino	85
4.2.2.	Morteros de pega.....	85
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mampostería sin refuerzo.....	25
2.	Mampostería reforzada interiormente	26
3.	Mampostería confinada.....	27
4.	Esquema de fallas en estructuras de mampostería	32
5.	Tipos de fallas por compresión diagonal	33
6.	Procedimiento de apisonado.....	50
7.	Cuartheador mecánico	54
8.	Equipo para ensayo de granulometría	55
9.	Equipo para ensayo de materia orgánica.....	57
10.	Equipo para ensayo de estabilidad a los sulfatos	58
11.	Equipo para ensayo de humedad superficial	61
12.	Equipo para ensayo de gravedad específica	61
13.	Equipo para ensayo de masa unitaria.....	64
14.	Equipo para mezclado de morteros	67
15.	Equipo para ensayo de flujo de morteros.....	68
16.	Equipo para ensayo de retención de agua.....	69
17.	Colocación de mezclas de mortero	71
18.	Fundición de cubos de mortero	71
19.	Curva granulométrica.....	80
20.	Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25.....	81
21.	Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:3.....	82

22.	Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25	83
23.	Gráfica esfuerzo versus edad para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3	84
24.	Comparación de flujo y retención de agua.....	87
25.	Gráfica comparativa de morteros con cemento tipo I PM	91
26.	Gráfica comparativa de morteros con cemento tipo S	92
27.	Comparación entre morteros en proporción 1:2,25 y diferente cemento	93
28.	Comparación entre morteros en proporción 1:3 y diferente cemento ...	94
29.	Comparación entre morteros con cemento tipo I PM y de mampostería tipo S.....	95

TABLAS

I.	Usos de los morteros	10
II.	Requisitos para la especificación por proporciones	12
III.	Requisitos para la especificación por propiedades	13
IV.	Resistencia a la compresión mínima sobre área neta	23
V.	Máxima absorción de los bloques de concreto	23
VI.	Combinaciones recomendables de unidad de mampostería con tipo de mortero	24
VII.	Factores de corrección de altura.....	28
VIII.	Porcentaje que pasa por tamiz	42
IX.	Clasificación de agregado fino según módulo de finura.....	43
X.	Requisitos de sustancias perjudiciales	43
XI.	Colores estándar.....	44
XII.	Capacidad del recipiente	47
XIII.	Resistencia esperada por edad	51

XIV.	Análisis granulométrico	56
XV.	Cálculo del desgaste	59
XVI.	Datos y resultados de laboratorio para gravedad específica.....	62
XVII.	Porcentaje de absorción.....	63
XVIII.	Datos de laboratorio para masa unitaria	65
XIX.	Porcentaje de vacíos.....	65
XX.	Tamiz No. 200.....	66
XXI.	Materiales para morteros con cemento Portland tipo I PM.....	69
XXII.	Materiales para morteros con cemento de mampostería tipo S	70
XXIII.	Datos de laboratorio del mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25	72
XXIV.	Datos de laboratorio del mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:3	73
XXV.	Datos de laboratorio del mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25.....	74
XXVI.	Datos de laboratorio del mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3.....	75
XXVII.	Resistencia a la compresión del mortero según clase de cemento y dosificación	76
XXVIII.	Características físicas del agregado fino.....	78
XXIX.	Distribución granulométrica del agregado fino	79
XXX.	Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25	81
XXXI.	Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento I PM en proporción 1:3.....	82
XXXII.	Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25	83
XXXIII.	Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3	84

XXXIV.	Retención de agua para los morteros elaborados con cementos tipo I PM y de mampostería tipo S.....	86
XXXV.	Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 y 1:3 con cemento tipo I PM.....	89
XXXVI.	Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 y 1:3 con cemento tipo S.....	89
XXXVII.	Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 con distinto cemento	90
XXXVIII.	Variación de la resistencia a la compresión según la edad de los morteros en proporción 1:3 con distinto cemento	90
XXXIX.	Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento tipo I PM a los 28 días en proporción 1:2,25 y la resistencia de la unidad de mampostería	96
XL.	Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento tipo I PM a los 28 días en proporción 1:3 y la resistencia de la unidad de mampostería	96
XLI.	Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S a los 28 días en proporción 1:2,25 y la resistencia de la unidad de mampostería	97
XLII.	Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S a los 28 días en proporción 1:3 y la resistencia de la unidad de mampostería	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
a/c	Relación agua/cemento
°C	Grado Celsius
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
f'm	Resistencia a la compresión de la mampostería
f'm*	Resistencia de diseño a la compresión de la mampostería
fmt	Resistencia a la compresión del prisma de mampostería
g	Gramo
h	Hora
hp/tp	Altura del prisma sobre espesor de la dimensión lateral del prisma
H₂O	Óxido de hidrógeno
kg	Kilogramo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kg/cm³	Kilogramo por centímetro cúbico
lbf	Libra fuerza
lb/pulg²	Libra por pulgada cuadrada
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
µm	Micrómetro

m²	Metro cuadrado
m²/kg	Metro cuadrado por kilogramo
Mpa	Megapascal
Psi	Libra por pulgada cuadrada
p³	Pie cúbico
s	Segundo
sss	Densidad relativa de superficie seca-saturada
UGC	Cemento de uso general en la construcción
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Adherencia	Cohesión entre un mortero y unidad de mampostería, luego de la hidratación del conglomerante.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
ASTM	American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).
Carga axial	Fuerza aplicada en el área transversal de un miembro estructural.
Clínker	Resultado final de calcinación de calizas arcillosas.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Conglomerante	Material capaz de dar cohesión mediante transformaciones químicas.
FHA	Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.
IBC	International Building Code (Código Internacional de la Edificación).

Lechada	Masa fina de conglomerantes mezclados con agua, para fijar unidades de mampostería o blanqueo de paredes.
LRFD	<i>Load and Resistance Factored Design</i> (Diseño por Factor de Carga y de Resistencia)
Mortero	Mezcla compuesta de conglomerantes, áridos y agua.
Prisma	Conjunto de elementos de mampostería que simulan secciones de muros.
Puzolana artificial	Resultado de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos, tales como arcilla cocida, escoria de altos hornos, ceniza de cascara de arroz, entre otras.
Puzolana natural	Ceniza volcánica de actividades geológicas.
UBC	<i>Uniform Building Code</i> (Código Uniforme de la Edificación).

RESUMEN

El presente trabajo de investigación presenta una breve descripción de las características, usos y aplicaciones de los elementos que constituyen una estructura de mampostería, así como el comportamiento estructural esperado, además de los parámetros de calidad y diseño que se deben tener al momento de su construcción.

En el estudio, se evaluaron morteros de pega elaborados con cementos Portland tipo I PM y de mampostería tipo S, disponibles en el mercado nacional. Se utilizó cuatro dosificaciones diferentes, con el propósito de obtener información completa de la cantidad de materiales y características de los mismos, para facilitar la selección del mortero según su clase.

Se caracterizaron los agregados finos seleccionados mediante un análisis completo y se elaboraron cubos de mortero, con las cantidades calculadas de materiales conformantes. Se establecieron las siguientes propiedades: flujo, retención de agua y resistencia a la compresión de las dosificaciones, según las normas COGUANOR y ASTM aplicables en cada caso, cuyos valores se utilizaron como parámetros de comparación entre los morteros de pega elaborados.

OBJETIVOS

General

Encontrar dosificaciones para morteros de pega elaborados con cemento Portland tipo I PM y de mampostería tipo S, descritos en las normas COGUANOR NTG 41 095 y NTG 41 096, más adecuadas para unidades de mampostería, fabricados bajo la norma COGUANOR NTG 41054.

Específicos

1. Caracterizar los agregados finos utilizados para la elaboración de los morteros de pega con cemento Portland tipo I PM y de mampostería tipo S, por el método de ensayo descrito en la norma COGUANOR NTG 41 031.
2. Utilizar dosificaciones usadas comúnmente en morteros de levantado, para evaluarlas en morteros de pega elaborados con cemento Portland tipo I PM y de mampostería tipo S.
3. Determinar la resistencia a la compresión de morteros de pega elaborados con cemento Portland tipo I PM y de mampostería tipo S, de acuerdo con las especificaciones dadas para morteros de pega para unidades de mampostería (norma COGUANOR NTG 41 003 h4, NTG 41 050).

4. Definir cuáles dosificaciones de morteros de pega proporcionan una resistencia a la compresión adecuada, de acuerdo a resistencia de las unidades de mampostería, fabricadas bajo la norma COGUANOR NTG 41 054.

INTRODUCCIÓN

En la República de Guatemala existen varios tipos de cementos disponibles en el mercado, tales como el cemento Portland tipo I, II, III IV y V; así como el cemento de mampostería, entre otros. Sin embargo, no se tienen suficientes datos en la literatura referentes a las resistencias a la compresión desarrolladas en los morteros de pega para levantado elaborados con cada uno de los mismos. Tampoco es posible encontrar información respecto a las dosificaciones ni especificaciones de los materiales que sean adecuadas para las unidades de mampostería de uso actual en el país. Por consecuencia, al no dosificar adecuadamente, puede haber fallas, las cuales comprometen a la estructura de mampostería.

Por lo tanto, evaluar la resistencia a la compresión de cuatro dosificaciones de morteros elaborados con cementos Portland tipo I PM (UGC) y de mampostería tipo S (Pegablock) descritos en las normas COGUANOR NTG 41 095 y 41 096, utilizando las especificaciones para morteros de pega para unidades de mampostería de la norma COGUANOR NTG 41 050 es de suma importancia para la buena elección de materiales y las proporciones adecuadas para su uso.

Así pues, se elaboraron probetas y se determinó su resistencia a compresión en 5 edades, según la norma COGUANOR NTG 41 003 h4. Se caracterizó los agregados finos, conforme a los requerimientos en la norma COGUANOR NTG 41 007, lo que facilitará la elección de una dosificación adecuada, en función de sus características físicas y mecánicas para las unidades de mampostería fabricadas bajo la norma COGUANOR NTG 41 054.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En la actualidad, se puede encontrar información relacionada con la resistencia a la compresión en morteros de albañilería, pero no se indican las cantidades exactas de materiales que se utilizan para los estudios, o no se describen las especificaciones de los productos utilizados, entre otros factores. Estos detalles son muy importantes en investigaciones de este tipo, pero existe un desconocimiento de las proporciones y características de los materiales empleados en la elaboración de los morteros evaluados en dichos estudios.

1.1.1. Estudios desarrollados anteriormente

En noviembre de 1995, el ingeniero Jorge Luis A. Cabrera, investigador de materiales de construcción del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción, en Cuba, realizó un estudio para determinar la resistencia que alcanzan los morteros de albañilería a la edad de 28 días. Preparó dosificaciones de morteros con 4 tipos de cementos, 2 tipos de arenas y 4 tipos de agregados, y logró realizar 23 dosificaciones. Obtuvo valores de resistencia a la adherencia para una variedad de morteros utilizados en las obras de albañilería. Los resultados más altos de adherencia se determinaron cuando se utilizó arena artificial lavada como árido e hidrato de cal como agregado general.

En el 2012, la ingeniera Alicia Encinas realizó el trabajo de graduación titulado “Mejoramiento de aplanados de yeso para aumentar la tolerancia a

fisuramiento”, por parte del Instituto Tecnológico de Sonora. En dicho estudio, se compararon distintas dosificaciones de mortero de yeso-cal, para determinar características físicas de los mismos. Se les practicó pruebas de fraguado y de resistencia a la compresión. Se indican las cantidades de yeso, cal, cemento y agua utilizadas.

En los meses de octubre a diciembre del 2012, el grupo de estudiantes, J. Marco, E. García, M.I. Más, V. Alcaraz y A. Luizaga, en la Universidad Politécnica de Madrid, realizaron un estudio de la resistencia a la compresión de morteros fabricados con conglomerante compuesto de polvo de vidrio. Se emplearon desechos procedentes de envases y embalajes, como productos de desecho de la industria cerámica. Lograron definir que las resistencias obtenidas por los morteros serán más altas, siempre y cuando la granulometría del polvo de vidrio sea más pequeña y cuanto mayor sea la cantidad de este. Se concluyó que los morteros fabricados a partir de polvo de vidrio, cemento y cal en las proporciones adecuadas, constituyen un material idóneo para ser utilizado como conglomerante en la estabilización de suelos.

1.2. Morteros

Un buen mortero es aquel que se adhiere a la paleta, se extiende con facilidad y no pierde una gran cantidad de agua al entrar en contacto con las unidades de mampostería.

Un mortero de pega debe ser capaz de soportar cargas pequeñas en estado fresco y, una vez endurecido, resistir el peso de las unidades de mampostería superiores e incluso cargas, si se trata de un muro portante.

1.2.1. Definición

Los morteros se definen como todas aquellas mezclas compuestas de conglomerantes, finos y agua, los cuales pueden tener o no función estructural (Salamanca, 2001).

Debido a sus características de plasticidad y facilidad de manejo durante su endurecimiento, alcanzan una gran resistencia mecánica; lo cual contribuye a que sea un material apto para la construcción.

Es una mezcla ampliamente utilizada para obras de albañilería como material adherente, repellos, revestimientos de pared, pegado de unidades de mampostería, resanes, entre otras aplicaciones.

1.2.2. Historia de los morteros

Según la Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero de Madrid (2003), hace 5000 años, al norte de Chile se construyen las primeras obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas. Estas obras formaban las paredes de las chozas utilizadas por la población natural.

Los constructores griegos y romanos descubrieron que las cenizas volcánicas, mezcladas con caliza y arena, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir inclemencias del tiempo. Estas cenizas las encontraron en un lugar llamado Puzzuoli; de aquí a este cemento se le conoce como cemento de puzolana (AFAM, 2003).

Hasta el siglo XVIII solo se utilizan los morteros de cal, yesos y materiales puzolánicos. Entre 1750 y 1800, se investigan mezclas calcinadas de arcilla y caliza. También los egipcios emplearon morteros de yeso y cal en sus construcciones monumentales (AFAM, 2003).

En el siglo XIX, Louis Joseph Vicat, un científico francés, realizó una serie de investigaciones que describían el comportamiento hidráulico de las mezclas de caliza y arcilla. En 1818, encaminó la fabricación del cemento por medio de mezclas de calizas y arcillas, dosificadas en las proporciones convenientes, molidas y calcinadas conjuntamente en húmedo y orientó el inicio del actual proceso de fabricación (AFAM, 2003).

En 1824, James Parker y Joseph Aspdin patentan el Cemento Portland. Le dan este nombre en razón de su color y dureza que recuerdan a las rocas de Portland, al sur de Inglaterra, materia que obtuvieron de la calcinación a alta temperatura de una caliza arcillosa (AFAM, 2003).

El cemento Portland, tal como se le conoce actualmente, fue producido a escala industrial por Isaac Charles Johnson en 1845, al moler los nódulos sobre cocidos del horno de Aspdin, con lo cual mejoró las dosificaciones de caliza y arcilla y aumentar las temperaturas de cocción para lograr sintetizarlas (Madrazo y Marquínez, 2013).

1.2.3. Materiales utilizados para elaborar morteros

Los materiales utilizados comúnmente son los conglomerados, arena y agua, pero también se puede utilizar otros, como la cal o incorporadores de aire para mejorar las características al trabajarlo e incrementar su durabilidad.

1.2.3.1. Cemento

Es un material pulverizado que, además de óxido de calcio, contiene sílice, alúmina y óxido de hierro, que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, cales aéreas y yesos (Rivera, p.18).

La finura del cemento depende del tiempo que fue molido el clínker, cuya medición es en m^2/kg . Una finura elevada favorece una rápida hidratación del cemento y generación de calor. Dicha finura se puede determinar por el método de ensayo detallado en la norma COGUANOR NTG 41 003 h6, la cual se obtiene por tamizado de la muestra a través del tamiz No. 325, bajo la acción de un chorro de agua a una presión de $0,7 \text{ kg/cm}^2$ (10 lb/pulg^2) durante un minuto. Se expresa como el porcentaje que pasa respecto de una cantidad definida.

1.2.3.2. Cemento Portland

Producto que se obtiene por la pulverización del clínker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos, siempre que su inclusión no afecte las características del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clínker (Rivera, p.18). Deben cumplir con especificaciones de las normas ASTM C 595 y COGUANOR NTG 41 095. El cemento Portland está clasificado en los siguientes tipos:

- Tipo I: es el cemento utilizado generalmente en la construcción en toda clase de obras pequeñas, medianas o grandes, donde no se requieran cementos con características especiales.

- Tipo I PM: se fabrica combinando cemento Portland o cemento Portland de escoria de alto horno con puzolana fina. El contenido de puzolana es menor del 15 % en peso del cemento terminado.
- Tipo II: tiene una resistencia media a los ataques de sulfatos, con o sin calor moderado de hidratación. Se usa en obras de construcción en general, o que requieren un calor de hidratación moderado. Por lo general, es utilizado para hacer tuberías de hormigón y puentes.
- Tipo III: es un cemento de alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.
- Tipo IV: es un cemento ideal para cuando se requiere bajo calor de hidratación en donde no deben de producirse dilataciones durante el fraguado.
- Tipo V: es el cemento usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos. Es útil para la construcción de canales, alcantarillas y obras portuarias.

1.2.3.3. Cemento de mampostería

Es el cemento hidráulico usado primariamente para morteros de pega o morteros de recubrimiento de la mampostería. Consiste en una mezcla de cemento hidráulico (cemento Portland o cementos adicionados) y materiales plastificantes tales como caliza, cal hidráulica o cal hidratada, junto con otros materiales que se agregan para mejorar una o más características, tales como el tiempo de fraguado, trabajabilidad, retención de agua y durabilidad. Debe cumplir con las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41 096. Los tipos de cemento de mampostería son los siguientes:

- Tipo N: para uso en la preparación del mortero tipo N de la especificación NTG 41 050 (ASTM C 270) sin necesidad de la adición de otros cementos o de cal hidratada y para uso en la preparación de morteros tipo S o tipo M de la especificación ASTM C 270, cuando el cemento se adiciona de acuerdo con los requisitos de la especificación NTG 41 050 (ASTM C 270).
- Tipo S: para uso en la preparación del mortero tipo S de la especificación NTG 41 050 (ASTM C 270) sin necesidad de la adición de otros cementos o de cal hidratada.
- Tipo M: para uso en la preparación del mortero tipo M de la especificación NTG 41 050 (ASTM C 270) sin necesidad de la adición de otros cementos o de cal hidratada.

1.2.3.4. Agregados finos

Son utilizados para morteros de albañilería; son aquellos materiales inertes, de forma granular, provenientes de la desintegración natural o artificial de las rocas. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Agregados naturales: son los que se encuentran directamente en la corteza terrestre o aquellos que se obtienen después de una modificación en su tamaño para adaptarlos a las necesidades de la obra.
- Agregados por trituración: son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes clases de rocas pertenecientes de rocas de cantera o a partir de los restos rechazados por granulometría de los agregados naturales.
- Agregados artificiales: son productos de procesos industriales, que permiten obtener escorias o materiales procedentes de demoliciones, pero que siguen siendo útiles.

1.2.3.5. Cal

Se obtiene a partir de la roca caliza o de la arcilla. Cuando sale del horno se le denomina cal viva. Puede ser hidráulica o aérea; la hidráulica tiene características similares al cemento; fragua cuando se le añade agua y desprende calor mientras se expande. La cal aérea se puede utilizar directamente, aunque se recomienda humedecerla 24 horas antes de iniciar el trabajo. Carecen de propiedades hidráulicas y no son susceptibles a endurecer bajo el agua (Ancade, p. 12).

1.2.3.6. Agua

No debe contener sustancias en suspensión o disueltas que alteren el fraguado del mortero. El agua potable debe de ser incolora, inodora, insípida, fresca y sin materia orgánica. No contendrá ningún agente en cantidades que alteren las características del mortero, tales como sulfatos y cloruros; de lo contrario, pueden producirse eflorescencias en la mampostería (AFAM, p. 30).

1.2.4. Tipos y usos de los morteros

Los tipos de morteros se definen en relación al conglomerante que se utiliza y a las cantidades asignadas para cada material que lo conforman y le otorgan distintas características, además de las propiedades mecánicas con las que debe contar para el uso específico.

1.2.4.1. Según los materiales que constituyen los morteros

Los morteros se pueden clasificar según los materiales con los que se fabrican y el uso, que le otorgan al mismo distintas características que modifican su comportamiento en obra. La Universidad Nacional de Colombia distingue los siguientes tipos de mortero:

- **Calcáreos:** interviene la cal como aglomerante y se distinguen según el origen de esta, en aéreos e hidráulicos. Es el mortero más manejable, pero esta ventaja se contrarresta con su baja resistencia debida a la baja velocidad de endurecimiento; la arena actúa al evitar agrietamientos y contracciones. Las proporciones más usadas de cal-arena son 1:2, 1:3 y 1:4. Este tipo de morteros son utilizados en trabajos de acabados en general.
- **De cal y cemento:** son morteros que contienen cemento, cal y arena; esta combinación ofrece al mortero buena retención de agua, altas resistencias iniciales, trabajabilidad; utilizan como base proporciones 1:2:6 hasta 1:2:10 (cemento:cal:arena). La cantidad de agua utilizada depende de la consistencia deseada. Las proporciones más utilizadas en Guatemala varían de 1:1/4:2 a 1:1:4.
- **De cemento:** se componen de arena y cemento Portland. Desarrolla altas resistencias y su trabajabilidad se verá afectada según las proporciones de cemento y arena utilizada. Las proporciones más usadas son de 1:1 a 1:9.

Tabla I. **Usos de los morteros**

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pega para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia. *Morteros*.

http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf. Consulta: 1 de junio de 2017.

- De yeso: se preparan con yeso hidratado y agua. El contenido de agua depende de las cualidades del yeso. En obras comunes se agrega el 50 %; para estucos, el 60 % y para moldes, el 70 %. El mortero se prepara a medida que se necesita, pues comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora.

1.2.4.2. Según la aplicación de los morteros

Se pueden clasificar según el uso que se les dé y en función de esto, se escoge la proporción más adecuada de acuerdo con la resistencia mecánica requerida. La Universidad Nacional de Colombia reconoce las siguientes aplicaciones:

- Mortero de pega: debe tener cualidades especiales, diferentes a los morteros usados para otros fines, porque está sometido a las

condiciones especiales del sistema constructivo. Debe contar con una resistencia adecuada, ya que debe absorber cargas que producen esfuerzos de tensión y compresión.

- Morteros de relleno: se utilizan para llenar las celdas de los elementos en la mampostería estructural, y al igual que el mortero de pega, debe tener una adecuada resistencia.
- Morteros de recubrimiento: dado que su función no es estructural sino de embellecimiento, o la de proporcionar una superficie uniforme para aplicar la pintura, no requieren una resistencia determinada; la plasticidad es una de las características más importantes.

1.2.4.3. Según las propiedades

Según la norma COGUANOR NTG 41 050 h3 o ASTM C 270, los morteros se dividen de acuerdo a sus propiedades, de la siguiente manera:

- Mortero tipo M: es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros. Se recomienda para mampostería con o sin refuerzo, pero sometida a grandes cargas de compresión, cuando se requiera resistencia al congelamiento, cargas laterales de tierra, vientos fuertes y temblores.
- Mortero tipo S: debe alcanzar la más alta resistencia a la adherencia posible. Debe usarse en estructuras sometidas a una carga de compresión normal y en los casos en que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido y otros.
- Mortero tipo N: es de propósito general, para ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno en enchapes de

mampostería, paredes internas y divisiones. Representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.

- Mortero tipo O: es un mortero de baja resistencia y con un alto contenido de cal. Puede usarse en paredes y divisiones sin carga o para revestimientos exteriores que no estén sometidos a congelamiento, aún cuando puedan estar húmedos. Son usuales en construcciones de vivienda de uno o dos pisos. Por su excelente trabajabilidad y bajo costo, son morteros preferidos por los albañiles.

Tabla II. **Requisitos para la especificación por proporciones**

Mortero	Tipo	Proporciones por volumen (materiales comandantes)							Proporción de agregado (medio en condiciones húmedo suelto)	
		Cemento hidráulico	Cemento para mortero de pega			Cemento de Mampostería				Cal hidratada
			M	S	N	M	S	N		
Cemento-cal	M	1	Más $\frac{1}{4}$	No menos que $\frac{2}{4}$ y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	...	...	...	...	...	...	Más de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$
	N	1	...	...	...	...	...	...	Más de $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{4}$
	O	1	...	...	...	...	...	...	Más $1 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{1}{2}$
Cemento para mortero de pega	M	1	...	...	1	...	...	...	...
	S	...	1	...	...	...	...	...	...
	S	$\frac{1}{2}$	...	...	1	...	...	...	...
	N	...	...	...	1	...	...	...	...
	O	...	...	...	1	...	...	...	...
Cemento de mampostería	M	1	...	...	...	...	...	1	...
	M	...	...	...	...	1	...	...	...
	S	$\frac{1}{2}$	...	...	...	...	...	1	...
	S	...	...	...	...	...	1	...	...
	N	...	...	...	...	...	...	1	...
	O	...	...	...	...	...	...	1	...

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 050 h3*. Pág. 10.

Tabla III. **Requisitos para la especificación por propiedades**

Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión promedio mínima Mpa (lb/pulg²)	Retención de agua mínimo %	Contenido de aire máximo %	Proporción de agregado (medido en condiciones húmedo suelto)
Cemento-cal	M	17,2 (2500)	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	12,4 (1800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14C	
	O	2,4(350)	75	14C	
Cemento para mortero de pega	M	17,2 (2500)	75	12	
	S	12,4 (1800)	75	12	
	N	5,2 (750)	75	14C	
	O	2,4 (350)	75	14C	
Cemento de mampostería	M	17,2 (2500)	75	18	
	S	12,4 (1800)	75	18	
	N	5,2 (750)	75	20D	
	O	2,4 (350)	75	20D	

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 050 h3*. Pág. 11.

1.2.5. **Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas están en función, primordialmente de la relación agua-cemento, arena-cemento y la granulometría, las cuales se describen a continuación:

1.2.5.1. **Resistencia a la compresión**

La resistencia de los morteros se desarrolla principalmente por la hidratación del cemento. La estructura se logra por la arena rodeada de la pasta de cemento que endurece hasta convertirse en una piedra artificial. Es la característica más importante en los morteros de albañilería, ya que forma parte

de un sistema constructivo. La resistencia a compresión se define como la máxima fuerza por unidad de superficie que es capaz de soportar el material hasta su rotura.

La resistencia a la compresión de los morteros de albañilería se determinará a partir de especímenes cúbicos de mortero ensayados de acuerdo al método de la norma COGUANOR NTG 41 003 h4 (ASTM C 109).

1.2.5.2. Resistencia de adherencia

Esta se mide mediante la resistencia a la tracción entre el mortero y la unidad de mampostería. Proporciona información sobre la dificultad que oponen las partículas del mortero por separarse. Como regla general, los morteros no están diseñados para resistir la tracción, por lo que se debe asegurar que el material no está sometido a estas sollicitaciones.

La resistencia de adherencia por tracción del mortero de pega y las unidades de mampostería se determina mediante el método de ensayo de la norma COGUANOR NTG 41 051 h7 (ASTM C 952).

1.2.5.3. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión por adherencia se obtiene por el ensaye de prismas de mampostería o por especímenes cortados de mampostería existente, en donde se utilicen los materiales de obra, al cual se le aplica carga a una tasa uniforme, de acuerdo al método de la norma COGUANOR NTG 41 051 h6 (ASTM C 1072).

1.2.6. Características físicas

Los morteros tienen diferentes características que se deben considerar al momento de elaborarlos, las cuales se ven definidas según el estado físico del mismo, ya sea fresco o endurecido.

1.2.6.1. Características en estado fresco

El estado fresco de un mortero corresponde al tiempo de mezclado y amasado. Su duración varía de acuerdo al tiempo de fraguado requerido por la mezcla, así como de otros factores, como la temperatura y humedad.

1.2.6.1.1. Consistencia

Define la manejabilidad o trabajabilidad del mortero. La consistencia adecuada se consigue en obra mediante la adición de cierta cantidad de agua que varía en función de la granulometría, cantidad de finos, aditivos, absorción de agua de la base sobre la que se aplica, así como de las condiciones ambientales, gusto de los operarios que lo utilizan, entre otras. La trabajabilidad mejora con la adición de cal, plastificantes o aireantes (Rodríguez Mora, 2003).

1.2.6.1.2. Trabajabilidad

Es la propiedad más importante de un mortero en estado plástico. El mortero trabajable soporta el peso de las unidades de mampostería cuando se colocan y facilita su alineamiento. El mortero de pega trabajable se adhiere a las superficies verticales de mampostería y se escurre fácilmente para las juntas, cuando el albañil aplica presión para alinear la unidad de mampostería (norma COGUANOR NTG 41 050, 2012, p. 18).

La trabajabilidad es una combinación de varias características: plasticidad, consistencia, cohesión y adhesión. Se ve afectada por la dosificación de los materiales, agregados, contenido de aire en las mezclas y el agua. Una buena trabajabilidad es esencial para conseguir una máxima adherencia con las unidades de mampostería (norma COGUANOR NTG 41 050, 2012, p. 18).

1.2.6.1.3. Flujo

La norma COGUANOR NTG 41 050 h3 (2012), define el flujo inicial como una característica del mortero medida en laboratorio. Indica el aumento porcentual en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando este se coloca en una mesa de flujo después de levantarlo $\frac{1}{2}$ pulgada y dejarlo caer 25 veces en 15 s. Normalmente, el mortero de pega en la obra requiere un mayor valor de flujo que el mortero de laboratorio y, consecuentemente, posee un mayor contenido de agua, con el propósito de producir una trabajabilidad satisfactoria para el albañil, lo cual altera las propiedades mecánicas del mortero. Las normas para los morteros de pega comúnmente exigen una retención de agua mínima de 75 % basada en un flujo inicial de 110 ± 5 %. Los morteros en la obra normalmente tienen flujos iniciales en un rango de 130 a 150 %, medidos por el molde cónico de la norma COGUANOR NTG 41 011.

1.2.6.1.4. Tiempo de fraguado

“Es el tiempo durante el cual un mortero posee la suficiente trabajabilidad para ser utilizado sin adición posterior de agua. Todas las características del mortero en estado fresco han de mantenerse durante este tiempo” (Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero de Madrid, 2003).

1.2.6.1.5. Retracción

Es una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero. Se caracteriza por la fisuración desordenada en la superficie del mismo, dejando las vías abiertas para el paso de agua (AFAM, 2003).

1.2.6.2. Características en estado endurecido

Son estipuladas por las especificaciones del proyecto y por las normativas. Estas características se ven definidas por el profesional constructor y se miden cuando el mortero ya fraguó. Un mortero debe de ser diseñado considerando todas las acciones mecánicas que se den en el proyecto, estimando acciones ambientales, químicas y físicas que puedan reducir el tiempo de vida útil del mismo.

1.2.6.2.1. Porosidad

“La porosidad es una de las características de los materiales con poros y se define como la relación entre el volumen de los poros y su volumen total, expresado en porcentaje” (Alejandro Sánchez, 2002).

“El agua no combinada se evapora y deja poros en el mortero. Condiciona la densidad, absorción, permeabilidad y resistencia del mortero” (Marín Palma, p. 11).

1.2.6.2.2. Rigidez y resistencia mecánica

Según Rodríguez Mora (2003), el mortero debe actuar como elemento de unión resistente compartiendo las sollicitaciones del sistema constructivo del que forma parte. El mortero utilizado en juntas debe soportar inicialmente las hiladas de ladrillos o bloques. Dependen del tipo de conglomerante, fino y porosidad. La resistencia del mortero influirá en la cantidad de carga que la estructura de mampostería puede soportar.

1.2.6.2.3. Adherencia

“La unión del mortero al soporte depende del tipo de conglomerante y absorción. Se basa en la resistencia a tensión de la unión entre un mortero y la unidad de mampostería. Resulta importante en morteros para revestimientos y de pega” (AFAM, 2003).

Según la norma COGUANOR NTG 41 050 h3 (2012), la adherencia se define como la característica más importante del mortero de pega. La adherencia tiene tres aspectos: resistencia, adherencia y durabilidad. Debido a que existen muchas variables que afectan la adherencia, es difícil establecer un ensayo de laboratorio para cada uno y generar resultados reproducibles. Estas variables son: contenido de aire, cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre la aplicación del mortero y la colocación de la unidad de mampostería, succión de la unidad de mampostería, capacidad de retención de agua del mortero, presión aplicada a la junta de mampostería durante la colocación, acabado, textura de la superficie de pega de la unidad de mampostería y las condiciones de curado.

1.2.6.2.4. Permeabilidad

Un mortero, cuanto menos poroso, es más impermeable al agua. Es deseable la impermeabilidad de los morteros expuestos al agua; sin embargo, deben permitir el paso del vapor a través de la estructura capilar del material, lo que favorece su traspiración e impide la aparición de condensaciones en el interior (AFAM, 2003).

1.2.6.2.5. Durabilidad

La norma COGUANOR NTG 41 050 h3 (2012) afirma que la unión de los morteros de pega con unidades de mampostería, diseñadas sin tomar en cuenta consideraciones de exposición, puede llevar la estructura de mampostería a problemas de durabilidad. Generalmente, los muros de mampostería expuestos al sol de un solo lado pueden permanecer años sin mantenimiento, lo que indica la potencial longevidad del mortero. Los muros de mampostería expuestos de ambos lados tienen exposición extrema y, por lo tanto, requieren de un mortero más durable.

1.2.7. Normas aplicables a morteros de levantado

A continuación, se enumeran las normas que especifican las características físicas y propiedades mecánicas de los morteros de levantado.

- “Mortero de pega para unidades de mampostería. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 050): Define las características y propiedades de un mortero utilizado para pegado de unidades de mampostería.

- “Método de Ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado”. (COGUANOR NTG 41 003 h4).
- “Mortero de pega para unidades de mampostería. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 050): Enlista todas las características que debe cumplir el mortero y los componentes que lo conforman.
- “Agregados para mortero de albañilería. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 031): Describe los requisitos de calidad y métodos para verificarla en agregados utilizados para morteros.
- “Cemento de mampostería. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 096).
- “Cementos hidráulicos. Especificaciones por desempeño”. (COGUANOR NTG 41 095).
- “Cal hidratada para la construcción. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 018).

1.3. Mampostería

Es un sistema constructivo de uso común en paredes de edificios, muros y monumentos. Se utiliza una combinación de unidades de edificación de materiales de arcilla, esquisto, hormigón, vidrio, yeso, rocas u otras unidades mampuestas con o sin mortero, o lechada de cemento u otro método de unión aceptado.

1.3.1. Definición

Se llama mampostería al sistema tradicional de construcción de muros para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen: bloques de mampostería, mortero, lechada y

refuerzo. Las dimensiones de las estructuras de mampostería son muy grandes en relación a la del mampuesto, los cuales, como un conjunto, deben resistir grandes cargas axiales, cortantes, muertas y momentos flexionantes que se produzcan en la estructura. De igual manera, deben ser resistentes a cargas de sismo, viento y ceniza, particularmente en Guatemala, donde el territorio está propenso a sufrir de esta clase de fenómenos. Para cubrir las sollicitaciones de estos esfuerzos, es necesario colocar refuerzos de acero estructural transversal y longitudinalmente, de acuerdo con un diseño previo, donde se consideren las características de todos los materiales conformantes (Cementos Cigao, 2018).

1.3.2. Tipos de mampostería

Las unidades de mampostería que se utilicen en construcciones de mampostería estructural pueden ser de concreto, arcilla cocida, sílico-calcáreas o de piedra.

1.3.2.1. Ladrillos de barro cocido

Este tipo de unidades deberá cumplir con la norma COGUANOR NGO 41 022 en lo referente a calidad, dimensiones, absorción y clasificación por resistencia. Según la relación área neta/área gruesa medida sobre planos perpendiculares a la superficie de carga, las unidades se clasifican en ladrillo macizo o tayuyo y ladrillo perforado o tubular. La relación área neta/área gruesa para las unidades de ladrillo macizo, deberá ser igual o mayor que 0,75 y para las unidades de ladrillo perforado esta relación será menor que 0,75 (AGIES, 2000).

1.3.2.2. Bloques de concreto

Este tipo de unidades que generalmente posee un alto porcentaje de vacíos deberá cumplir con la norma COGUANOR NTG 41 054 en lo referente a calidad, dimensiones, absorciones y clasificación por resistencia (AGIES, 2000). Se dividen de acuerdo a su resistencia a la compresión y porcentaje de absorción máxima de humedad.

- Clase A (uso estructural con baja absorción de humedad): para uso en muros exteriores o interiores que soportan carga por debajo o sobre el nivel del suelo. Muros de contención, muros de cimentación, muros de división que soportarán carga. Para edificaciones con áreas mayores de 100 m² de construcción, de uno o dos niveles. Si tiene más de dos niveles se debe cumplir con los requisitos de diseño estructural de la norma AGIES NSE 7,4. Los bloques pueden usarse con o sin recubrimiento protector o acabado contra las inclemencias del tiempo.
- Clase B (uso general con mediana absorción de humedad): muros exteriores o interiores que soportan carga sobre el nivel del suelo, para edificaciones con un área máxima de 100 m² de construcción y distribución simétrica, de uno o dos niveles. Los bloques externos o expuestos deben usarse con recubrimiento protector o acabado contra las inclemencias del tiempo.
- Clase C (uso no estructural con alta absorción de humedad): muros exteriores o interiores sobre el nivel del suelo, que no soportan carga, o que la soportan en muros de edificaciones de un nivel, menores de 50 m² de construcción con distribución simétrica. También para muros colindantes entre terrenos. Si son muros exteriores debe aplicárseles un recubrimiento o acabado protector contra las inclemencias del tiempo.

Los bloques de mampostería deben cumplir con la resistencia especificada en la siguiente tabla:

Tabla IV. **Resistencia a la compresión mínima sobre área neta**

Clase	Resistencia mínima a compresión, calculada sobre area neta del bloque kg/cm ² (Mpa)	
	Promedio de 5 bloques o más	Mínimo de bloque individual
A	133,0(13,0)	113,0 (11,1)
B	100,0 (9,8)	85,0 (8,3)
C	66,0 (6,5)	56,0 (5,5)

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 054*. Pág. 4.

La máxima absorción de agua de los bloques se debe encontrar dentro de las especificaciones de la siguiente tabla:

Tabla V. **Máxima absorción de los bloques de concreto**

Clase	Absorción (en % de masa)	
	Promedio de 3 bloques como mínimo	Valor máximo bloque individual
A	≤10	11,0
B	≤15	16,5
C	≤20	22,0

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 054*. Pág. 5.

El Manual de diseño sismo resistente simplificado de mampostería de block de concreto para Guatemala, recomienda respetar la siguiente compatibilidad entre el mortero y unidad de mampostería:

Tabla VI. **Combinaciones recomendables de unidad de mampostería con tipo de mortero**

Combinaciones recomendables de clase de block con clase de mortero			
Block	Combina con mortero tipo		
	M	S	N
A	Si	Si	No
B	No	Si	No
C	No	Si	No

Fuente: AGIES. *Manual de diseño de mampostería sismo resistente de block*. 2014.

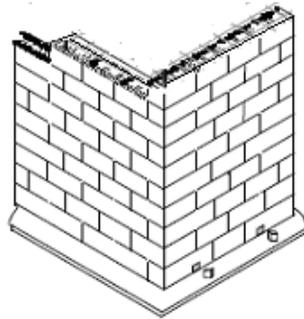
1.3.3. Sistemas de mampostería

Existen tres tipos primordiales de sistemas de construcción para mampostería, que según los materiales y método constructivo, pueden tener resistencia a la actividad sísmica.

1.3.3.1. Mampostería sin refuerzo

Este sistema no utiliza ningún tipo de refuerzo interno o externo de confinamiento en sus unidades de mampostería. Los muros de albañilería sin refuerzo presentan importantes limitaciones para resistir acciones sísmicas, debido a que tienen poca capacidad para trabajar bajo cargas que producen esfuerzos cortantes; además, una vez producido el agrietamiento de sus elementos tienden a comportarse de manera frágil, por lo que el colapso de la construcción podría evidenciarse a la hora de un sismo de magnitud considerable (Florián Ramírez, 2009, p. 9).

Figura 1. **Mampostería sin refuerzo**

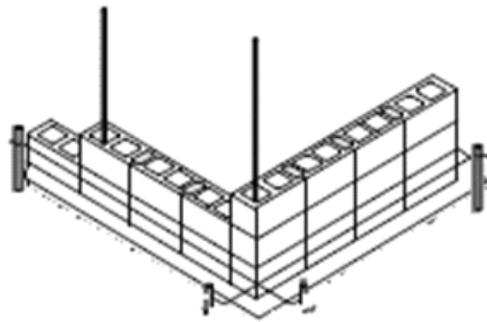


Fuente: FLORIÁN RAMÍREZ, Elida. *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Pág. 10.

1.3.3.2. Mampostería reforzada interiormente

Es la forma de construcción en la cual el refuerzo actúa en conjunto con la mampostería para resistir fuerzas verticales y horizontales que llegan hasta ella. Este sistema permite que las celdas de los bloques puedan ir rellenas con concreto expansivo, ya sea en todas o solo las celdas en las cuales está el acero estructural de refuerzo. De la misma manera, reduce la cantidad de formaleta utilizada, ya que las barras de acero se colocan dentro de las celdas de las unidades de mampostería (Florián Ramírez, 2009, p. 11).

Figura 2. **Mampostería reforzada interiormente**



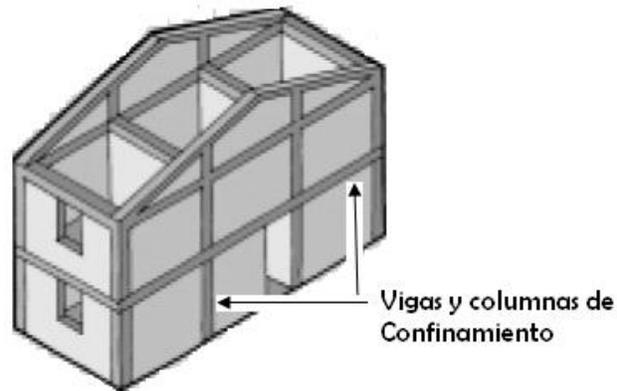
Fuente: FLORIÁN RAMÍREZ, Elida. *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Pág. 12.

Para construirlo, se levantan las esquinas o cruces de muro, de cuatro a seis hiladas, formando una especie de pirámide en cada esquina. Se verifica el nivel, verticalidad y horizontalidad.

1.3.3.3. Mampostería confinada

Es la que se realiza a través de un muro que luego se confina con vigas y columnas de concreto reforzado vaciadas en sitio. El comportamiento de un muro confinado depende de la calidad de la albañilería, dimensiones, cuantía de refuerzo de los elementos de confinamiento, trabajo conjunto que se logre entre los mampuestos y elementos de confinamiento, esbeltez y la existencia de armadura horizontal en todo el muro. Además, se debe tener cuidado especial de no interrumpir los lazos de confinamiento, para que trabajen como un solo elemento resistente a momentos flexionantes (Florián Ramírez, 2009, p. 13).

Figura 3. **Mampostería confinada**



Fuente: FLORIÁN RAMÍREZ, Elida. *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Pág. 13.

Es preferible que los muros confinados tengan forma cuadrada. Se deben utilizar mampuestos que garanticen la resistencia a la compresión alcanzada. Es recomendado que la cantidad de perforaciones sea menor que el 40 %. La viga de amarre debe ser continua.

1.3.4. Propiedades mecánicas

Las unidades de mampostería poseen propiedades intrínsecas que, al ser sometidas a cargas en un sistema estructural, definen su diseño y comportamiento mecánico, entre las cuales están:

1.3.4.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de la mampostería (f'_m) se determina mediante ensayos de prismas de mampostería, la cual se establece en los

procedimientos indicados en la norma COGUANOR NTG 41 051 h2 (ASTM C 1314). Este valor se determina a la edad de 28 días, con su elaboración, curado, transporte, almacenamiento y procedimiento, de la manera indicada en la norma. Se utiliza el método de prismas de mampostería, con el fin de poder considerar las unidades de mampostería y el mortero como un sistema completo.

Para determinar la resistencia a la compresión de la mampostería se calcula la relación h_p/tp para cada prisma, usando la altura y la menor dimensión lateral de ese prisma. Se determina el factor de corrección según la tabla VII. Luego, se multiplica la resistencia del prisma por el factor de corrección. Por último, se calcula la resistencia a compresión f_{mT} para cada juego de prismas, promediando los valores obtenidos.

Tabla VII. **Factores de corrección de altura**

hp/tpA	1,3	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Factor de corrección	0,75	0,86	1,0	1,04	1,07	1,15	1,22

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 051 h2*. Pág. 18

“Para diseño de estructuras de mampostería, se emplea una resistencia f'_m , medida sobre el área neta, que se determinará como el alcanzado por el 98 % de las piezas producidas. Se utilizará información estadística del producto” (Valdez Medina, 2010).

La resistencia de diseño se calculará como:

$$f'_m = \frac{f_m}{1 + 2,5C_p}$$

Donde:

$F'm$ = resistencia a compresión de las piezas, referidas al área bruta.

C_v = coeficiente de variación de la resistencia a la compresión de las piezas.

El valor de C_v no se tomará menor que:

- 0,20 para piezas provenientes de plantas mecanizadas que evidencien un sistema de control de calidad.
- 0,30 para piezas de fabricación mecanizada, pero que no cuenten con un sistema de control de calidad.
- 0,35 para piezas de producción artesanal.

1.3.4.2. Resistencia a la compresión diagonal

La resistencia de diseño a corte o compresión diagonal de la mampostería, V_m^* , sobre el área bruta de la diagonal, se determina a los 28 días. Si se cree que el muro recibirá cargas antes de ese lapso, se recomienda que los prismas tengan una longitud al menos de una vez y media la longitud de la unidad de mampostería y el número de hiladas necesarias para que la altura sea igual a la longitud. Se utiliza el método de ensayo en la norma COGUANOR NTG 41 051 h3.

1.3.4.3. Resistencia al aplastamiento

Cuando una carga concentrada se transmite directamente a la mampostería, el esfuerzo de contacto no excederá de $0,6 f'm^*$.

1.3.4.4. Resistencia a la tensión

Se considera inexistente la resistencia a la tensión de la mampostería a esfuerzos de tensión perpendiculares a las juntas. Cuando esta se requiera, se debe proporcionar el acero de refuerzo necesario.

1.3.4.5. Módulo de elasticidad

Para obtener el módulo de elasticidad para cargas sostenidas se deberán considerar las deformaciones diferidas debidas al flujo plástico de las piezas y el mortero.

De acuerdo a AGIES (2000), el módulo de elasticidad, “ E_m ” en kg/cm^2 , para la mampostería, ya sean unidades de mampostería de barro cocido o bloques de concreto, se podrá estimar como una función de su resistencia a compresión, “ f'_m ” de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E_m = 750 f'_m$$

Donde:

E_m = módulo de elasticidad

f'_m = resistencia de diseño de la mampostería

1.3.4.6. Módulo cortante

Según AGIES (2000), el módulo de cortante, “ E_v ” en kg/cm^2 , para la mampostería (tanto para unidades de mampostería de barro cocido o bloques

de concreto) se podrá estimar como una función de su módulo de elasticidad, “Em” de acuerdo con la ecuación:

$$E_v = G_v = 0,4 * E_m = 360f'm$$

Donde:

E_v = módulo cortante en kg/cm^2

G_v = módulo cortante para la mampostería

E_m = módulo de elasticidad

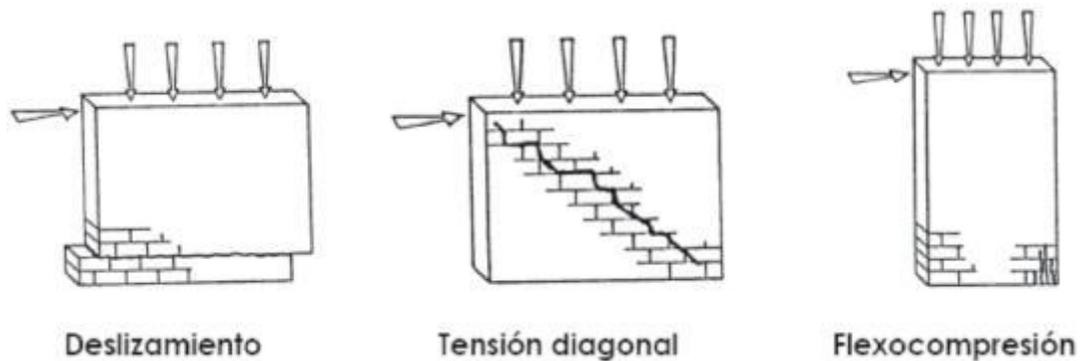
$f'm$ = resistencia de diseño de la mampostería

El módulo cortante de la mampostería “ G_v ”, puede calcularse a partir de las mediciones de la deflexión realizadas sobre prismas de mampostería, el cual depende del tipo de unidad, la clase de mortero y el contenido de humedad de las unidades cuando se colocan.

1.3.5. Fallas en estructuras de mampostería

Las fisuras en los muros se suelen dar por secciones insuficientes, alturas excesivas de muros, uso incorrecto de los materiales, falta de juntas, entre otros. También influyen los errores en ejecución, como dosificaciones de morteros inadecuadas y falta de continuidad en el material. Algunas de las fallas en estructuras de mampostería se muestran en la siguiente figura.

Figura 4. **Esquema de fallas en estructuras de mampostería**

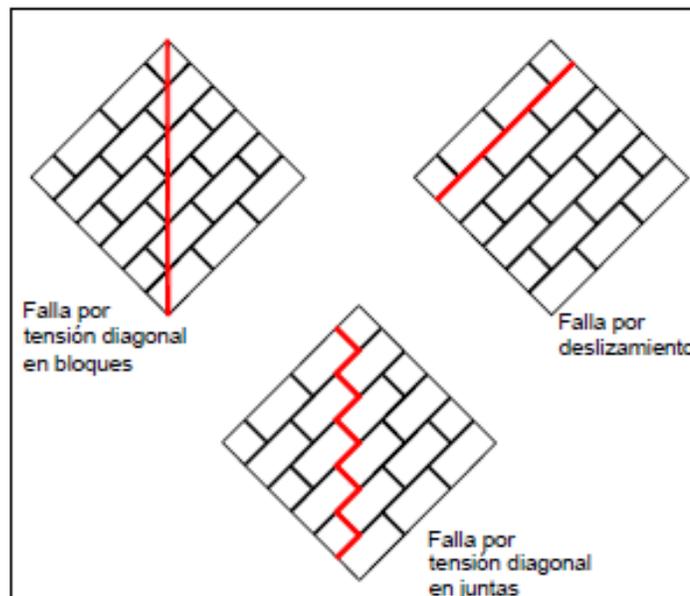


Fuente: PÁEZ MORENO, Diego et al. *Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería*. <http://www.scielo.org.co/scielo.php>. Consulta: 1 de junio de 2017.

- Falla por corte: el agrietamiento por corte se puede presentar en forma de escalera, siguiendo la junta de mortero, caracterizada por su forma diagonal a lo largo del muro y es consecuencia de los esfuerzos de tensión diagonal o esfuerzos de corte que se producen en el mismo. Se produce sobre las unidades de mampostería (Páez Moreno et al, 2009).
- Falla por fricción-cortante o deslizamiento: “el agrietamiento por deslizamiento se presenta a lo largo de la junta horizontal de mortero como consecuencia de una falla de adherencia por corte en la junta, ocasionada por la poca adhesión entre las unidades y el mortero” (Páez Moreno et al, 2009).
- Falla por compresión: es producto del efecto puntal que se produce cuando se separa el cuerpo del muro de los elementos de confinamiento, situación que genera esfuerzos de compresión en las esquinas del muro, las que pueden provocar la falla por aplastamiento en la zona (Páez Moreno et al, 2009).

- Falla por flexión: se presenta por cargas axiales grandes que presentan esfuerzos normales altos, comparados con los esfuerzos de corte. El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y el centro, que puede presentarse en muros esbeltos, y produce una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro (Páez Moreno et al, 2009).

Figura 5. **Tipos de fallas por compresión diagonal**



Fuente: FERNÁNDEZ BAQUEIRO, L. et al. *Determinación de la resistencia a la compresión diagonal y el módulo de cortante de la mampostería de bloques huecos de concreto*. Pág. 42.

1.3.6. Normas aplicables a bloques de concreto

A continuación, se enumeran las normas que especifican las características recomendadas y los procedimientos de ensayo para determinar las propiedades mecánicas para los bloques de concreto.

- “Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones”. (COGUANOR NTG 41 054).
- “Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de prismas de mampostería”. (COGUANOR NTG 41 051 h2).
- “Método de ensayo. Determinación de la tracción diagonal (corte) en ensamblajes de mampostería”. (COGUANOR NTG 41 051 h3).
- Método de ensayo. Determinación de la resistencia de la adherencia por flexión de la mampostería”. (COGUANOR NTG 41 051 h6).
- “Método de ensayo. Determinación de la resistencia de adherencia por tracción del mortero de pega y las unidades de mampostería”.

1.4. Especificaciones generales de análisis y diseño para estructuras de mampostería

Para diseñar estructuras de mampostería, se deben utilizar criterios de diseño y métodos de análisis adecuados para dimensionar elementos estructurales, para que su funcionamiento sea satisfactorio bajo condiciones establecidas.

1.4.1. Criterios de diseño

El dimensionamiento y detallado de elementos estructurales se hará de acuerdo con los criterios de diseño relativos al estado límite de falla y de servicio. De igual manera, se diseñará por durabilidad.

- Criterio de estado límite de falla: las estructuras y elementos estructurales deben dimensionarse y detallarse de modo que la resistencia de diseño en cualquier sección sea al menos igual al valor de

diseño de la fuerza o momento internos (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017). Se debe incluir los factores de resistencia.

- Criterio de estado límite de servicio: “se comprobará que las respuestas de la estructura (...) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio” (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017).
- Diseño por durabilidad: “se diseñará por durabilidad, para una probabilidad de vida útil de 50 años” (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017).
- Factores de resistencia: las resistencias deberán reducirse por un factor de resistencia. Los factores de reducción por utilizar para flexión y carga axial son de 0,90; para corte es de 0,80, y para volteo, de 0,60 (Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, 2017).

1.4.2. Métodos de análisis

Para diseñar elementos estructurales de mampostería, se puede hacer por tres métodos, los cuales son dados en diferentes códigos de diseño de mampostería, como IBC y UBC.

1.4.2.1. Diseño por esfuerzos admisibles o esfuerzos de trabajo

“Es un método para determinar las dimensiones de los elementos estructurales de forma tal que los esfuerzos calculados producidos en los elementos por las combinaciones de esfuerzo admisible no excedan el esfuerzo admisible especificado” (UBC, 1997).

1.4.2.2. Diseño por factor de carga y de resistencia

Es un método para determinar las dimensiones de los elementos estructurales utilizando factores de carga y de resistencia, de modo que la estructura no alcance el estado límite correspondiente cuando la estructura está sometida a todas las combinaciones apropiadas de carga. El término “LRFD” se utiliza en el diseño de estructuras de acero y de madera (UBC, 1997).

1.4.2.3. Diseño por resistencia

Es un método para determinar las dimensiones de los elementos estructurales, de manera que las fuerzas calculadas que se producen en los elementos por las combinaciones de cargas factorizadas no excedan la resistencia factorizada del elemento. El término “diseño por resistencia” se utiliza en el diseño de estructuras de hormigón y mampostería (UBC, 1997).

1.5. Deficiencia en estructuras de mampostería

En la actualidad, es frecuente utilizar mampostería para construir viviendas; por esto, es importante desarrollar sistemas constructivos que tengan buen desempeño estructural, así como emplear materiales de buena calidad, que alcancen la resistencia deseada. Desafortunadamente, se cometen errores en la fase de diseño y ejecución, lo cual generará que el comportamiento deseado de la estructura no se presente en la realidad.

1.5.1. Distribución arquitectónica

Es indispensable tomar en cuenta las recomendaciones básicas descritas en normas y reglamentos, como el FHA o el Reglamento de Construcción de la

Ciudad de Guatemala, donde se dan medidas mínimas para los espacios de las viviendas, entre otros.

Algunos de los errores cometidos comúnmente, al no seguir las disposiciones en normas o reglamentos, son los siguientes:

- Se realizan aberturas para ventanas y puertas sin un confinamiento adecuado.
- Perforaciones, huecos o ranuras de dimensiones y ubicación inapropiadas para el paso de instalaciones.
- Los muros deben colocarse de manera simétrica en la estructura para que tengan un comportamiento adecuado; de lo contrario, pueden originarse problemas de torsión por irregularidades en la rigidez.
- No se modulan las piezas de mampostería en los proyectos por ejecutar, de manera que no se puede tener un cálculo acertado de la cantidad de mampuestos por consumir en dicho proyecto, lo que aumenta los costos de mano de obra y materiales.

Los tres principios básicos que debe cumplir un diseño estructural para que se comporte adecuadamente ante la ocurrencia de un evento sísmico, son los siguientes:

- La edificación debe ser lo más liviana posible. Mientras más masa tiene el edificio, más elevadas serán las fuerzas de inercia que originan las solicitaciones sísmicas.
- La edificación debe ser suficientemente rígida y suficientemente dúctil. La nueva filosofía es lograr edificaciones cada vez más rígidas, limitando el valor de las derivas de pisos.

- La edificación debe ser sencilla y simétrica, tanto en planta como en altura. Mientras más sencillas, simétricas y rectilíneas sean las estructuras, mayor será el grado de confiabilidad de las mismas cuando ocurran movimientos sísmicos.

1.5.2. Materiales empleados

Habitualmente, por criterios económicos o falta de ética profesional, se emplean materiales inapropiados en la construcción de edificaciones esenciales, lo cual pone en riesgo la integridad de la estructura y de sus ocupantes. Los problemas en materiales más frecuentes, son los siguientes:

- Piezas de baja calidad, caracterizadas por materia prima con matriz arenosa, secado y cocción incompleta. No cumplen con normas de calidad.
- Agua contaminada con sales.
- Agregados finos y gruesos, con materia orgánica.
- Morteros con proporciones deficientes, que tienen bajas resistencias a la tensión.

1.5.3. Calidad constructiva

La calidad constructiva se ve afectada principalmente por la construcción sin control ni supervisión, debido a una planificación deficiente. Incluso a veces, a pesar de existir una planificación, no se cumplen con las especificaciones indicadas en los planos.

Todos los individuos involucrados en el proceso constructivo pueden afectar con sus decisiones la calidad constructiva. Comúnmente, los daños generados por defectos en la construcción, se originan por:

- Errores en el replanteo
- Modificaciones del proyecto
- Incumplimiento de las normativas
- Falta de definición del proyecto
- Modificaciones en los materiales

Generalmente, la principal causa de defectos en la construcción se debe a la falta de personal calificado, como consecuencia de no contar con la asesoría de profesionales en las fases de planificación y ejecución del proyecto.

2. ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación, se presentan todos los métodos de ensayo aplicables al estudio, con los cuales se determinarán las características físicas generales del agregado fino y especificaciones que deben cumplir los morteros de pega, las cuales están regidas por las normas COGUANOR NTG 41 007 y 41 050, respectivamente.

2.1. Caracterización de agregados finos

Como primer paso, se debe caracterizar los agregados finos por utilizar en los morteros de pega. Se logra por medio de la graduación, determinación de la densidad relativa, densidad aparente, porcentaje de absorción y vacíos, estabilidad a la disgregación por sulfatos y contaminación existente en los mismos.

Dichos parámetros se deben encontrar dentro de límites permisibles establecidos en las normas COGUANOR, para que mejoren su trabajabilidad y resistencia a la compresión alcanzada por los morteros. El agregado fino por utilizar en los ensayos de laboratorio será arena triturada de cantera.

2.1.1. Granulometría y módulo de finura, según norma NTG 41 010 h1 (ASTM C-136)

Los agregados con los que se elaborarán los morteros de albañilería deben ser granulados de acuerdo a los siguientes límites, dependiendo de si se utiliza arena natural o artificial:

Tabla VIII. **Porcentaje que pasa por tamiz**

Tamaño de tamiz	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena manufacturada
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No. 16)	70 a 100	70 a 100
600 µm (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 µm (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 µm (No. 100)	2 a 15	10 a 25
75 µm (No. 200)	0 a 5	0 a 10

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 031*. Pág. 4.

Se utiliza como mínimo 300 g para el ensayo. Se debe seleccionar los tamices con las aberturas adecuadas, de manera que se pueda determinar el módulo de finura.

Se calculan los porcentajes que pasan en cada tamiz. Luego se calcula el módulo de finura mediante la suma de los porcentajes retenidos acumulados y se divide dentro de 100. Dicho módulo de finura es necesario que se encuentre en un rango de 2,3 a 3,1, ya que entre mayor sea el resultado, más grueso es el agregado, y se busca arena media, para evitar problemas de nivelación o acabados rústicos. Con dicha información, se traza la curva granulométrica para comparar los resultados con los límites establecidos por la norma.

El agregado se puede clasificar según su módulo de finura como aparece en la siguiente tabla:

Tabla IX. **Clasificación de agregado fino según módulo de finura**

Tipo de arena	Módulo de finura
Gruesa	2,90-3,20
Media	2,20-2,90
Fina	1,50-2,20
Muy fina	Menos de 1,50

Fuente: GAITÁN OROZCO, Sergio. *Análisis mineralógico y examen petrográfico de agregado fino para concreto de tres bancos de la región central del país*. Pág. 25.

2.1.2. **Sustancias perjudiciales, según norma NTG 41 031 (ASTM C-144)**

La cantidad de sustancias perjudiciales en agregado para mortero de albañilería, que cumplan con los requisitos de granulometría, no deben de exceder lo siguiente:

Tabla X. **Requisitos de sustancias perjudiciales**

Ítem	Máximo porcentaje admisible en peso
Partículas friables	1,0
Partículas livianas que flotan en líquido con una densidad relativa de 2,0	5,0 [^]
^A Este requisito se aplica a carbón o lignito. Para agregados de escoria de alto horno de agregados de pómez (arena blanca y amarilla) usados en Guatemala no es aplicable. Para arenas naturales, el límite de material de densidad menor de 2,0 puede ser convenido entre fabricante y comprador	

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 031*. Pág. 4.

Estas sustancias presentes en grandes cantidades en las mezclas de mortero pueden interferir con la hidratación normal del cemento, reducir el desarrollo de resistencia e incluso generar baja durabilidad en el mortero

endurecido. Algunos tipos de arcillas producen fenómenos de expansión o contracción al entrar en contacto con agua, generando presiones internas que pueden agrietar el material; además, pueden incrementar la demanda de agua y la cantidad de cemento utilizada.

2.1.3. Impurezas orgánicas, según norma NTG 41 010 h4 (ASTM C-40)

Este ensayo se realiza mediante los requerimientos de la norma COGUANOR NTG 41 010 h4. Es útil para determinar la presencia de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas, ya que estas reducen la adherencia a la pasta de cemento. Al producirse un color más oscuro que el estándar, el agregado debe ser tratado.

El color del líquido de la muestra del agregado debe encontrarse en la placa orgánica No. 3, siendo el máximo permisible; si no, debe considerarse que el agregado contiene materia orgánica perjudicial. A continuación, en la tabla XI, se especifican los cinco vidrios de colores estándar:

Tabla XI. **Colores estándar**

No. de color estándar Gardner	No. placa orgánica
5	1
8	2
11	3 (Max. permisible)
14	4
16	5

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 010 h4*. Pág. 7.

2.1.4. Estabilidad a la disgregación de los agregados por sulfatos, según norma NTG 41 010 h6 (ASTM C-88)

Este método está dado por la norma COGUANOR NTG 41 010 h6. Sirve para estimar la estabilidad a la disgregación de los agregados sometidos a la meteorización mediante la inmersión repetida en soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio, creando presiones por la formación de cristales, semejantes a las producidas por la congelación del agua, para simular el desgaste normal de los mismos, bajo condiciones climáticas reales. Debido a que la precisión del método es baja, se debe utilizar como la confirmación de otros ensayos relacionados con las características esperadas del agregado.

Para este ensayo se pasa el agregado fino en un tamiz de 3/8" (9,5 mm), se lava en un tamiz No. 50 y se separa en sus diferentes tamaños por tamizado. Se sumergen las muestras en la solución preparada por un período no menor de 16 horas ni mayor que 18 horas. Se repite hasta cumplir los 5 ciclos de sumersión y se lava la muestra. Se debe pesar las muestras previo y después del ensayo para poder expresar como porcentaje del peso original, las fracciones obtenidas al final.

Según la norma COGUANOR NTG 41 007, con este ensayo se puede determinar la calidad de los agregados, que deben tener una pérdida promedio ponderada no mayor de 10 % cuando se utiliza sulfato de sodio o de 15 % cuando se utiliza sulfato de magnesio. De no cumplirse con este parámetro es posible que los agregados tengan poca durabilidad y afectan la integridad de la estructura donde se utilicen.

2.1.5. Densidad relativa y porcentaje de absorción, según norma NTG 41 010 h9 (ASTM C-128)

Este ensayo está dado por la norma COGUANOR NTG 41 010 h9 y sirve para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y absorción de los agregados finos, los cuales son utilizados para proporcionar mezclas de concreto, morteros y otros, donde se involucren los agregados.

La absorción y densidad relativa de los agregados se determina al sumergir el agregado en agua por un período determinado. Se ensaya el agregado en condición de superficie seca, la cual se verifica por el ensayo de humedad superficial, con un molde cónico truncado de metal, especificado en la norma. Se obtiene el volumen de la muestra por el método gravimétrico, donde se utiliza un picnómetro; o volumétrico, el cual utiliza un frasco de Le Chatelier. Por lo general, la gravedad específica para agregados finos se encuentra en un rango de 2,4 a 2,9.

2.1.6. Densidad aparente e índice de vacíos, según norma NTG 41 010 h2 (ASTM C29)

Este ensayo está establecido por la norma COGUANOR NTG 41 010 h2, donde se describe el método para determinar la densidad aparente (masa unitaria) en los agregados en condición compacta o suelta, y el porcentaje de vacíos existente en el agregado fino. Dichos parámetros se utilizan para el diseño y dosificación de mezclas de concreto.

Se utilizan moldes cilíndricos de metal con agarraderos. La capacidad del recipiente se escoge en función del tamaño nominal máximo del agregado, como se muestra en la tabla XII.

Tabla XII. **Capacidad del recipiente**

Capacidad del recipiente			
Tamaño nominal máximo de los agregados		Capacidad del recipiente ^A	
Mm	Pulgada	m³ (L)	p³
12,5	½	0,0028 (2,8)	1/10
25,0	1	0,0093 (9,3)	1/3
37,5	1 ½	0,0140(14,0)	½
75,0	3	0,0280 (28,0)	1
100,0	4	0,0700 (70,0)	2 ½
125,0	5	0,1000 (100,0)	3 ½

^A El tamaño indicado del recipiente debe usarse para ensayar los agregados de un tamaño nominal máximo igual o más pequeño que el listado. El volumen real del recipiente debe ser por lo menos del 95 % del volumen listado.

Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 010 h2*. Pág. 5.

Se utiliza una varilla de apisonado con punta redonda de acero de 5/8 pulgadas de diámetro y 24 pulgadas de largo. La muestra de ensayo debe tener un volumen aproximadamente de 125 a 200 % mayor que el molde cilíndrico.

2.1.7. Material más fino que el tamiz No. 200, según norma NTG 41 010 h3 (ASTM C-117)

Este procedimiento de ensayo utiliza la norma COGUANOR NTG 41 010 h3. Cubre la determinación por lavado del material más fino que el tamiz No. 200, donde se remueven partículas de arcillas y otras partículas presentes en los agregados que se disuelven y remueven durante el ensayo.

Este ensayo cuenta con dos procedimientos diferentes. El primero utiliza agua corriente para el lavado y el otro usa un agente humectante para ayudar a

retirar las partículas de agregado más grueso. El material fino no debe de superar 5 % para arena natural y 7 % para arena manufacturada, del peso total de la muestra; de lo contrario, la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado se ve afectada, se incrementa la cantidad de agua requerida, aunque un moderado porcentaje de finos favorece la trabajabilidad, pero su exceso afecta la resistencia del mortero.

2.2. Morteros

Luego de la caracterización de los agregados finos para la elaboración de morteros, es necesario verificar que las características de las mezclas en estado fresco y endurecido se encuentren bajo las especificaciones recomendadas en las normas correspondientes, cuyos resultados determinan el desempeño en obra y comportamiento mecánico en la estructura de mampostería.

2.2.1. Determinación del flujo, según norma NTG 41 003 h13 (ASTM C-117)

Este ensayo le corresponde a la norma COGUANOR NTG 41 003 h13. Este es útil cuando se necesita determinar la fluidez de un mortero elaborado con cemento hidráulico y otros tipos, la cual está directamente relacionada con la cantidad de agua utilizada para la mezcla.

Para este ensayo se registran los diámetros del mortero a lo largo de las líneas grabadas en la mesa superior del flujo, y se le deja caer 25 veces en 15 segundos. El flujo es el incremento resultante del diámetro de base promedio del mortero, expresado como un porcentaje del diámetro de base original. Un

mortero se considera aceptable cuando contiene la cantidad necesaria de agua que produzca un flujo de 110 ± 5 %.

2.2.2. Retención de agua, según norma ASTM C-1506

Este ensayo corresponde a la norma ASTM C 1506, cuyo método proporciona la determinación de la habilidad de morteros de pega y de recubrimiento a base de cemento hidráulico para retener el agua bajo succión. Para este ensayo se mide el flujo antes y después de ser sometido a una succión de 2 pulgadas de mercurio. En la norma COGUANOR NTG 41 050, se indica que la retención de agua mínima de un mortero debe de ser de 75 %

Esta propiedad es un indicativo del tiempo de colocación y ajuste de la unidad de mampostería, sin que el mortero se endurezca. Dicha propiedad se ve mejorada por la incorporación de finos de la arena en la mezcla, utilizando aditivos incorporadores de aire o materiales retenedores de agua.

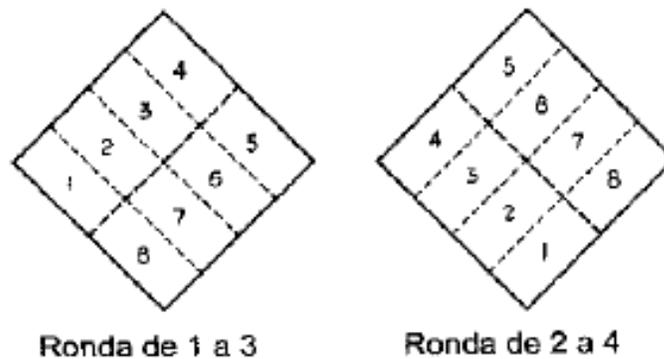
2.2.3. Resistencia a la compresión, según norma NTG 41 003 h4 (ASTM C-109)

Este ensayo está dado por la norma COGUANOR NTG 41 003 h4 y provee un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros elaborados con cemento hidráulico y otros tipos, para poder verificar el cumplimiento de especificaciones para un proyecto.

Para llevar a cabo el ensayo, se utilizan moldes metálicos para especímenes cúbicos de 2 pulgadas por lado. Se debe aplicar un desencofrante a las caras interiores del molde, el cual no debe de tener más de tres compartimientos cúbicos y ser separables en no más de dos partes. Se mezcla

mecánicamente el mortero, según las dosificaciones por trabajar; se elaboran de dos a tres especímenes por edad de ensayo; se apisona 32 veces en dos capas. Por último, se ensayan a compresión, se obtiene una carga última que resiste los especímenes cúbicos y se calcula el esfuerzo de compresión resistido, de acuerdo con la ecuación descrita en la norma.

Figura 6. **Procedimiento de apisonado**



Fuente: Comisión Guatemalteca de Normas. *COGUANOR NTG 41 003 h4*. Pág. 13.

Se hacen dos o tres especímenes por amasada de mortero para cada edad, y se recomienda ensayar a 1, 3, 7 y 28 días. La resistencia esperada por cada edad de ensayo es la siguiente:

Tabla XIII. **Resistencia esperada por edad**

Edad (días)	Porcentaje de resistencia desarrollada
1	16 %
3	40 %
7	65 %
14	90 %
28	99 %

Fuente: Ingeniería Real. *Resistencia del concreto a los 28 días.*

www.ingenieriareal.com/resistencia-del-concreto-a-los-28-dias/. Consulta: 28 de mayo de 2018.

Luego de los 28 días, se continua incrementando la resistencia en un porcentaje considerablemente menor.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El estudio consiste en una serie de ensayos que tiene como objetivo utilizar las especificaciones mínimas proporcionadas por la norma COGUANOR NTG 41 050 h3 (ASTM C-270), en relación con los materiales constituyentes y características que deben ser evaluadas en una mezcla de mortero.

Se busca encontrar las proporciones más adecuadas de acuerdo a la resistencia a la compresión de unidades de mampostería que cumplan con las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41 054, en términos de resistencia a la compresión en especímenes cúbicos de mortero y las especificaciones de propiedades que muestra la norma COGUANOR NTG 41 050 h3, al igual que comparar las propiedades desarrolladas con los cementos por trabajar.

La muestra de agregados finos se extrajo de la planta ubicada en el kilómetro 32,5, carretera a Palín, Escuintla. Los agregados provienen de la cantera en dicho lugar, de donde se trasladó hacia el Centro de Investigaciones de Ingeniería para evaluar las características del material, y poder definir si es adecuado para su uso en la elaboración de morteros.

Los cementos Portland utilizados para el estudio son: cemento hidráulico tipo I PM (UGC) de 4060 psi y cemento de mampostería tipo S (Pegablock) de 3000 psi de la marca “Cementos Progreso”, los cuales cumplen con las normas COGUANOR NTG 41 095 y 41 096, respectivamente.

Las proporciones (cemento: arena) por evaluar con ambos cementos son: 1:2,25 y 1:3,00; para poder comparar la resistencia a la compresión, flujo y retención de agua desarrolladas con ambos cementos.

3.1. Caracterización de agregados finos

Se separó la muestra por ensayar para el análisis completo de agregados finos de acuerdo con la COGUANOR NTG 41 009. Se utilizó un cuarteador mecánico para seleccionar una cantidad de material más homogénea, adecuada para obtener resultados precisos. Se secó en un horno a temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, durante un período de 24 h.

Figura 7. **Cuarteador mecánico**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

3.1.1. Granulometría

Para determinar la graduación del material fino utilizado en los morteros de pega, se utilizó la norma COGUANOR NTG 41 010 h1. El tamaño de la muestra fue de 500 g.

El equipo utilizado fue el siguiente:

- Tamices de 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50 y No. 100
- Tamizadora mecánica
- Balanza análoga con precisión de 0,1 g.

Figura 8. **Equipo para ensayo de granulometría**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

El porcentaje retenido individual de material en cada tamiz se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ retenido individual} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{peso total muestra}} * 100$$

Entonces, los datos tabulados para el análisis granulométrico del material son los siguientes:

Tabla XIV. **Análisis granulométrico**

Tamiz	Material acumulado (g)	Material individual (g)	% retenido individual	% retenido acumulado	% pasa acumulado
3/8"	0	0	0	0	100,00
No.4	0	0	0	0	100,00
No.8	15,40	95,40	19,00	19,00	81,00
No. 16	228,00	133,60	26,60	45,60	54,40
No.30	331,10	103,10	20,60	66,20	33,80
No. 50	414,40	83,30	16,60	82,00	17,20
No. 100	470,00	56,60	11,20	94,00	6,00
Fondo	499,80	29,80	6,00	100,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

El módulo de finura se calculó a partir de los datos de la tabla XIV y se utilizó la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado}}{100}$$

Donde:

MF = módulo de finura del agregado fino.

Σ % = sumatoria de los porcentajes de retenido acumulado del tamiz No.4 al tamiz No. 100.

Sustituyendo valores, el módulo de finura resultante es de 3,07. Dicho resultado debe encontrarse en el rango de 2,3 a 3,1; por lo tanto, sí se cumple con este requisito. De acuerdo a la tabla IX, el módulo de finura está dentro del rango de 2,90 a 3,20, por consiguiente, se clasifica como una arena gruesa.

3.1.2. Impurezas orgánicas

Este ensayo se realizó mediante el método de ensayo de la norma COGUANOR NTG 41 010 h4.

El equipo utilizado para el ensayo fue:

- Hidróxido de sodio
- Colorímetro
- Probeta de 350 o 470 ml
- Cucharón
- 470 g de agregado fino

Figura 9. **Equipo para ensayo de materia orgánica**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Según la figura 9, se observa que el color de la solución en suspensión es más clara que el vidrio de color No. 1; por lo tanto, se determina que la muestra no contiene materia orgánica, cumple con la calidad requerida del material y su uso.

3.1.3. Estabilidad a la disgregación de los agregados por sulfatos

La norma aplicable para este ensayo es la COGUANOR NTG 41010 h6. El equipo por utilizar en dicho procedimiento se describe a continuación:

- Sulfato de sodio
- Tamizadora mecánica
- Tamices No. 8, 4, 30 y 50
- Cacerolas para contener el material
- Horno
- Balanza análoga con precisión de 0,1 g
- Guantes para el calor
- Agregado fino en muestras de 100 g para cada uno de los tamices definidos

Figura 10. **Equipo para ensayo de estabilidad a los sulfatos**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Los datos tabulados en laboratorio, después de completar los 5 ciclos de desgaste en sulfato de sodio, son los siguientes:

Tabla XV. **Cálculo del desgaste**

Tamaños		Graduación por fracción	Peso antes de ensayo	Peso después de ensayo (g)	% de desgaste	% de desgaste ref. a graduación
Pasa	Retenidos					
No. 100	Fondo	6,00	-	-	-	-
No. 50	No. 100	11,20	-	-	0,90	0,1000
No. 30	No. 50	16,60	100	99,10	0,90	0,1494
No. 16	No. 30	20,60	100	99,80	0,20	0,0412
No. 8	No. 16	26,60	100	99,90	0,10	0,0266
No. 4	No. 8	19,00	100	97,20	2,80	0,5320
3/8 "	No. 4	0,00	-	-	2,80	0,0000
TOTALES		100,00	-	-	-	0,8500

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de desgaste fue calculado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

P_i = peso de la muestra antes del ensayo

P_f = peso de la muestra después del ensayo

El porcentaje de desgaste referente a la graduación del agregado fue calculado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Desgaste ref. a graduación} = \frac{\% R_i * \% \text{ Desgaste}}{P_i}$$

Donde:

% Ri = porcentaje retenido individual de cada tamiz, de acuerdo a su granulometría.

Pi = peso de la muestra antes del ensayo.

Finalmente, se obtuvo un desgaste de la muestra de agregado de 0,85 %, utilizando sulfato de sodio.

3.1.4. Densidad relativa y porcentaje de absorción

La gravedad específica del material se determinó de acuerdo con el método de ensayo de la norma COGUANOR NTG 41 010 h9. Se utilizó la misma muestra de las probetas para obtener el porcentaje de absorción.

La muestra utilizada para cada una de las probetas fue de 500 g, Se empleó el equipo descrito a continuación para la realización del ensayo:

- 3 probetas de 500 ml
- Agua
- Balanza análoga con precisión de 0,1 g
- Molde para ensayo de humedad superficial
- Apisonador

Figura 11. **Equipo para ensayo de humedad superficial**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Figura 12. **Equipo para ensayo de gravedad específica**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Se calcula el peso específico para el material ensayado mediante la ecuación:

$$P.E. = \frac{Peso\ mat}{Peso_{prob+H_2O} + Peso\ mat - Peso_{prob+mat+H_2O}}$$

Donde:

P.E.= peso específico del material por evaluar

Peso mat = peso del material en condición húmeda de superficie seca

Peso_{prob+H₂O} = peso de la probeta más el agua

Peso_{prob+mat+H₂O} = peso de la probeta más el material y el agua

Tras sustituir los valores en la ecuación, se presentan los resultados de gravedad específica promedio de los tres ensayos realizados en la siguiente tabla.

Tabla XVI. **Datos y resultados de laboratorio para gravedad específica**

Característica	Ensayo		
	1	2	3
Peso probeta (g)	177,10	164,70	153,80
Peso prob+ mat (g)	677,10	664,70	653,80
Peso prob+mat+H ₂ O (g)	991,00	976,40	967,70
Peso prob + H ₂ O (g)	680,05	667,20	656,70
Temperatura (°C)	20,10	20,10	20,10
Peso del material (g)	500,00	500,00	500,00
Peso específico	2,64	2,62	2,65
Promedio	2,64		

Fuente: elaboración propia

Para el cálculo del porcentaje de absorción se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% Abs = \frac{Pi - Pf}{Pf}$$

Donde:

% Abs = porcentaje de absorción de agua del agregado fino

Pi = peso del material utilizado en el ensayo de gravedad específica

Pf = peso del material después de ser secado al horno a temperatura constante

Tabla XVII. **Porcentaje de absorción**

Peso inicial	1500,00 g
Peso final	1478,50 g
Porcentaje de absorción	1,45 %

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Densidad aparente e índice de vacíos

Se determinó la masa unitaria para la muestra de agregados, en condición suelta y compactada, siguiendo el método de ensayo de la norma COGUANOR NTG 41 010 h2.

El equipo utilizado para el ensayo, fue el siguiente:

- Tara de 2,843 L
- Varilla apisonadora
- Cucharón

- Bandeja
- Balanza electrónica con precisión de 0,01 kg

Figura 13. **Equipo para ensayo de masa unitaria**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

La masa unitaria del material se calculó conforme a la siguiente ecuación:

$$M.U. = \frac{\text{Peso mat.}}{\text{Vol. tara}}$$

Donde:

Peso mat. = peso del material ensayado en gramos

Vol. Tara = volumen de la tara utilizada en litros

En la tabla XVIII se encuentran los datos obtenidos en laboratorio y los promedios de la masa unitaria en condición suelta y compactada.

Tabla XVIII. **Datos de laboratorio para masa unitaria**

Característica	Suelto	Suelto	Suelto	Compactado	Compactado
Peso recipiente (kg)	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
Peso rec+ mat (kg)	6,33	6,34	6,29	6,50	6,50
Peso material (kg)	4,63	4,64	4,59	4,80	4,80
Masa unitaria (kg/m ³)	1628,56	1632,08	1614,49	1688,36	1688,36
Masa unitaria promedio (kg/m ³)	1630			1690	

Fuente: elaboración propia.

Luego, se calculó el porcentaje de vacíos presente en el material, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ vacíos} = \frac{P.E. - M.U.}{P.E.}$$

Donde:

P.E. mat = valor de peso específico obtenido para el material ensayado

M.U. = valor de masa unitaria obtenida para el material ensayado en kg/m³

Al sustituir los valores en la ecuación, se obtuvo los resultados de la siguiente tabla, los cuales representan el porcentaje de vacíos en condición suelta y compactada del agregado fino.

Tabla XIX. **Porcentaje de vacíos**

Porcentaje de vacíos	
Suelto	Compactado
38	56

Fuente: elaboración propia.

3.1.6. Material más fino que el tamiz No. 200

Este ensayo se realizó mediante el método de lavado con agua corriente descrito en la norma COGUANOR NTG 41 010 h3.

El equipo utilizado para el ensayo fue:

- Balanza análoga con precisión de 0.1 g.
- Tamiz No. 200
- Horno
- Contenedor

Los datos obtenidos en el laboratorio después del ensayo de lavado con el tamiz No. 200, fueron los siguientes:

Tabla XX. Tamiz No. 200

Peso inicial (g)	500,0
Peso final (g)	477,9
% que pasa tamiz No. 200	4,0

Fuente: elaboración propia.

3.2. Morteros

Para calcular las cantidades de cemento y arena para cada bachada, se empleó el método del anexo X4 de la norma COGUANOR NTG 41 050 h3 (ASTM C-270). Fue necesario utilizar 3 bachadas para cada diseño de mezcla, la cual fue suficiente para realizar los ensayos de flujo, retención de agua y

resistencia a la compresión para especímenes cúbicos de mortero, donde se trabajaron 3 especímenes en 5 edades de ensayo.

Para el mezclado del material de los morteros se utilizó el procedimiento y especificaciones para el equipo de mezclado de la norma COGUANOR NTG 41 002.

Figura 14. **Equipo para mezclado de morteros**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

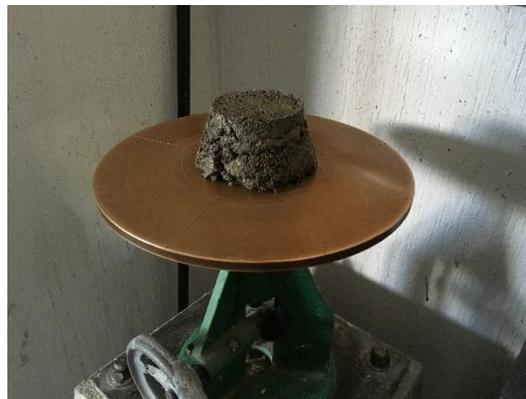
3.2.1. Determinación del flujo

Para el ensayo de flujo de cada proporción, se empleó el método de la norma COGUANOR NTG 41 003 h13, para morteros de cemento hidráulico. Se utilizó el siguiente equipo:

- Mesa de flujo

- Cono truncado
- Tamper
- Cronómetro
- Extensómetro

Figura 15. **Equipo para ensayo de flujo de morteros**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Al establecer la cantidad de agua por medio de la medición del flujo de los morteros, se utilizó la misma cantidad para las bachadas restantes de las mezclas, sin necesidad de repetir el ensayo.

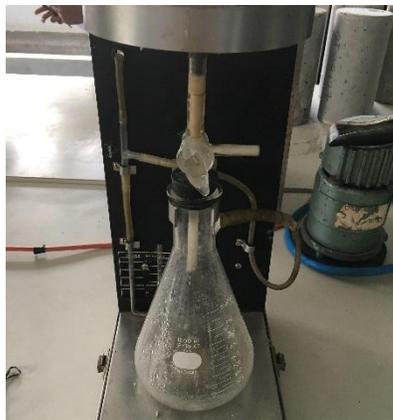
3.2.2. Retención de agua

Para el ensayo de retención de agua, para cada proporción, se utilizó el método de ensayo de la norma ASTM C 1329, con el equipo descrito a continuación:

- Bomba capaz de alcanzar una presión de 2 pulgadas de mercurio
- Manguera

- Papel filtro
- Cucharón
- Vaselina
- Probeta de 500 ml de capacidad

Figura 16. **Equipo para ensayo de retención de agua**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Se inició con una relación a/c de 0,485 para calcular el agua necesaria para generar un flujo de 110 ± 5 %. El agua es la cantidad final especificada en las tablas que se muestran a continuación:

Tabla XXI. **Materiales para morteros con cemento Portland tipo I PM**

Proporciones	Cemento tipo I PM (g)	Arena (g)	Agua (ml)	Relación a/c (%)	Flujo (%)	Retención de agua (%)
1:2,25	591,3	1440	265	45	108	33,3
1:3	443,5	1440	244	55	113	27,4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Materiales para morteros con cemento de mampostería tipo S**

Proporciones	Cemento de mampostería tipo S (g)	Arena (g)	Agua (ml)	Relación a/c (%)	Flujo (%)	Retención de agua (%)
1:2,25	440,2	1440	243	55	105	38,1
1:3	330,1	1440	230	70	109	38,5

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de retención de agua requerido según norma, es de 75 %; por lo tanto, ninguna de las dosificaciones trabajadas cumple con este requisito.

3.2.3. Resistencia a la compresión

Para el moldeo de los cubos de mortero y el ensayo a compresión de los mismos, se utilizó la norma COGUANOR NTG 41 003 h4, con el siguiente equipo:

- 20 moldes metálicos para mortero
- Tamper
- Bandeja para colocar los morteros a curar
- Agua de cal
- Balanza análoga con precisión de 0.1 g
- Vernier

Se colocaron las mezclas de mortero en los moldes metálicos, apisonándolos de la manera indicada en la norma para eliminar espacios vacíos al fraguar.

Figura 17. **Colocación de mezclas de mortero**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Se dejaron fraguar los especímenes por un día, para luego desencofrar y curar mediante la inmersión en agua de cal hasta el momento de ensayo a compresión.

Figura 18. **Fundición de cubos de mortero**



Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Se efectuó el ensayo a compresión a las cuatro mezclas utilizadas a los 3, 7, 14, 21 y 28 días, para comprobar el comportamiento de resistencia y su aumento. Se calculó los esfuerzos mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = esfuerzo en kg/cm², mpa o psi

P = carga ultima resistida por el cubo de mortero en lbf

A = área medida en cm²

Tabla XXIII. Datos de laboratorio del mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25

No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)	Promedio por edad (Psi)
1	3	301,8	12 100	26,67	205,78	20,2	2930	3010
2	3	302	12 500	25,96	218,45	21,4	3110	
3	3	301,2	12 000	26,01	209,30	20,5	2980	
4	7	303,6	19 700	25,70	347,64	34,1	4950	4880
5	7	303,5	19 400	26,16	336,35	33,0	4790	
6	7	301,4	19 700	26,01	343,55	33,7	4890	
7	14	300,9	21 500	25,86	377,16	37,0	5370	5340
8	14	290,5	20 900	25,35	373,98	36,7	5330	
9	14	300,4	21 400	25,96	373,94	36,7	5330	
10	21	291,8	23 000	25,65	406,76	39,9	5790	5620
11	21	304,4	22 000	26,11	382,19	37,5	5440	
12	28	305,1	28 600	26,42	491,05	48,1	6980	
13	28	301,4	29 700	26,47	508,95	49,9	7240	7130
14	28	294,4	28 700	25,85	503,52	49,4	7170	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se descartó el dato a compresión obtenida de un cubo de mortero a la edad de 21 días, ya que no se encuentra en el rango máximo admisible de 8,7 % del promedio de resistencia a la compresión de esa misma edad, como se indica en la norma. Dicha dispersión pudo ocurrir por un apisonado inadecuado.

Tabla XXIV. Datos de laboratorio del mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:3

No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)	Promedio por edad (Psi)
1	3	301,7	10 100	26,01	176,14	17,3	2510	2500
2	3	300,1	9900	25,86	173,67	17,0	2470	
3	3	297,5	10 000	25,70	176,47	17,3	2510	
4	7	305,5	12 500	26,32	215,46	21,1	3060	3100
5	7	300,8	12 700	25,91	222,35	21,8	3160	
6	7	288,2	12 100	25,25	217,36	21,3	3090	
7	14	304,0	15 700	26,11	272,73	26,7	3870	3860
8	14	288,2	15 400	25,15	277,75	27,2	3950	
9	14	289,1	15 200	26,06	264,56	25,9	3760	
10	21	304,8	20 600	26,16	357,15	35,0	5080	4970
11	21	305,9	20 000	26,21	346,07	33,9	4920	
12	21	305,6	20 000	26,27	345,40	33,9	4920	
13	28	300,0	21 000	25,86	368,39	36,1	5240	5440
14	28	301,7	23 000	25,86	403,48	39,6	5750	
15	28	304,0	21 600	26,11	375,23	36,8	5340	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Datos de laboratorio del mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25**

No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)	Promedio por edad (Psi)
1	3	299,4	8500	25,70	150,00	14,7	2130	2170
2	3	305,1	9200	26,41	157,98	15,5	2250	
3	3	299,8	8500	25,70	150,00	14,7	2130	
4	7	299,6	11 000	25,55	195,26	19,1	2770	2770
5	7	299,8	11 000	25,50	195,65	19,2	2790	
6	7	298,1	11 000	25,70	194,12	19,0	2760	
7	14	301,2	13 100	26,06	228,01	22,4	3250	3050
8	14	303,3	12 000	26,11	208,45	20,4	2960	
9	14	304,2	12 000	26,37	206,43	20,2	2930	
10	21	300,4	15 100	25,60	267,51	26,2	3800	3850
11	21	304,4	15 700	26,21	271,67	26,7	3870	
12	21	303,2	15 900	26,52	271,95	26,7	3870	
13	28	305,3	14 900	26,42	255,83	25,1	3640	3910
14	28	298,7	16 700	25,91	292,40	28,7	4160	
15	28	300,9	15 700	25,91	274,88	27,0	3920	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Datos de laboratorio del mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3**

No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)	Promedio por edad (Psi)
1	3	296,9	5300	26,01	92,43	9,1	1320	1360
2	3	296,1	5400	25,60	95,67	9,4	1360	
3	3	299,0	5600	25,86	98,24	9,6	1390	
4	7	297,3	7000	25,91	122,56	12,0	1740	1800
5	7	300,4	7700	26,01	134,28	13,2	1920	
6	7	296,4	6900	25,86	121,04	11,9	1730	
7	14	301,0	8500	25,96	148,53	14,6	2120	2170
8	14	301,9	9000	25,91	157,57	15,5	2250	
9	14	299,0	8500	25,70	149,99	14,7	2130	
10	21	302,1	10 100	26,16	175,11	17,2	2500	2410
11	21	296,9	9300	26,01	162,19	15,9	2310	
12	28	297,9	11 000	25,60	194,88	19,1	2770	2770
13	28	298,9	11 100	25,81	195,10	19,1	2770	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se descartó un cubo de mortero a las edades de 21 y 28 días, respectivamente, al no encontrarse en el rango máximo admisible de 8,7 % del promedio de las resistencias a compresión de esa misma edad, como se indica en la norma. Dicha dispersión en los datos pudo ocurrir debido a un apisonado inadecuado.

Tabla XXVII. Resistencia a la compresión del mortero según clase de cemento y dosificación

Edad(días)	Cemento tipo I PM				Cemento de mampostería tipo S			
	1:2,25		1:3		1:2,25		1:3	
	Kg/cm ²	Psi	Kg/cm ²	Psi	Kg/cm ²	Psi	Kg/cm ²	Psi
3	211,18	3010	175,43	2500	152,66	2170	95,44	1360
7	342,52	4880	218,39	3100	195,01	2770	125,96	1800
14	375,03	5340	271,68	3860	214,30	3050	152,03	2170
21	394,47	5620	349,54	4970	270,38	3850	168,65	2410
28	501,17	7130	382,37	5440	274,37	3910	194,99	2770

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La recopilación de los resultados obtenidos de las características físicas y propiedades mecánicas de los morteros estudiados y de los materiales constituyentes en las dosificaciones elegidas con su análisis correspondiente, así como las mejoras propuestas según las características deseadas en un mortero de pega, se presentan a continuación.

4.1. Resultados obtenidos y gráficas

A continuación, se muestran las características físicas de los agregados y propiedades mecánicas de las mezclas elaboradas con los cementos correspondientes, y las gráficas elaboradas para su análisis posterior.

4.1.1. Agregado fino

En la siguiente tabla se encuentran las características físicas del agregado que se obtuvo mediante el análisis completo del agregado fino en los laboratorios del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Tabla XXVIII. **Características físicas del agregado fino**

Propiedad	Arena triturada
Densidad relativa (sss)	2,64
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1690,00
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1630,00
Porcentaje de vacíos suelto (%)	38,00
Porcentaje de vacíos compactado (%)	36,00
Porcentaje retenido tamiz 6,35 (%)	0,00
Porcentaje que pasa tamiz 200 (%)	4,40
Porcentaje de absorción (%)	1,50
Módulo de finura	3,08
Materia orgánica	1,00
Desgaste ref. a graduación (%)	0,85

Fuente: elaboración propia.

La densidad relativa de los agregados finos se encuentra en el rango esperado de 2,4 a 2,9, según la literatura investigada, para ser utilizada en la elaboración de morteros y concretos.

El porcentaje máximo que pasa el tamiz 200 es del 7 %, por lo tanto, el material sí cumple con los límites establecidos según la norma COGUANOR NTG 41 007 y no contiene un exceso de partículas que pueden ser perjudiciales para el mortero.

El módulo de finura de un agregado debe encontrarse entre 2,3 y 3,1; entonces, el agregado sí cumple con este requerimiento de la norma COGUANOR NTG 41 007, y al tratarse de una arena gruesa aporta gran resistencia al mortero por utilizarse en juntas de mampostería.

En la prueba de materia orgánica de los agregados se obtuvo como resultado la placa No.1; según la norma COGUANOR NTG 41 010 h4 se debe

de tener como máximo la placa No.3; entonces, el agregado sí cumple con tener una baja cantidad de contaminantes y no debe tener ningún tratamiento especial.

El desgaste referente a la graduación del agregado, obtenido mediante el ensayo de estabilidad a la disgregación cuando se utiliza la solución de sulfato de sodio, debe ser 10 % máximo, por lo que sí se cumple con este parámetro. Tomando en cuenta los resultados anteriores, se determina que la calidad del material es óptima.

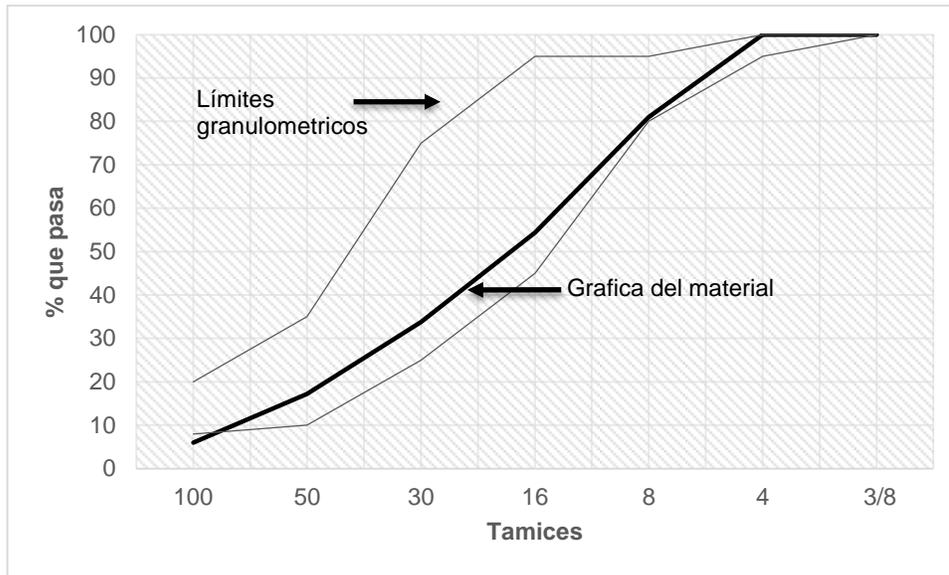
Tabla XXIX. Distribución granulométrica del agregado fino

Tamiz No.	% que pasa	Límites granulométricos (COGUANOR NTG 41 007 h1) (%)	
		Inferior	Superior
3/8" (9,50 mm)	100,00	100,00	100,00
No. 4 (4,75 mm)	100,00	95,00	100,00
No. 8 (2,36 mm)	81,00	80,00	95,00
No. 16 (1,18 mm)	54,40	45,00	95,00
No. 30 (0,60 mm)	33,80	25,00	75,00
No. 50 (0,30 mm)	17,20	10,00	35,00
No. 100 (0,15mm)	6,00	8,00	20,00

Fuente: elaboración propia

En este caso, el porcentaje que pasa el tamiz No. 100 es menor que el límite inferior establecido según la norma; por lo tanto, el agregado no es recomendable para el diseño de mezcla, pero mediante técnicas adecuadas se puede mejorar su uso, ya que pueden darse problemas de trabajabilidad. Esto puede mitigarse con una mayor adición de cemento para generar una mayor adherencia entre las partículas del agregado y por la adición de aire incorporado u otro conglomerante para mejorar dicha propiedad.

Figura 19. **Curva granulométrica**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica del material se puede observar que en el tamiz No. 100 se tiene un porcentaje que pasa menor al 8 % establecido como límite inferior. En el tamiz No. 8, el porcentaje que pasa se encuentra muy cercano al límite inferior de 80 %, por lo que es posible tener problemas de trabajabilidad con este agregado.

4.1.2. **Morteros de pega**

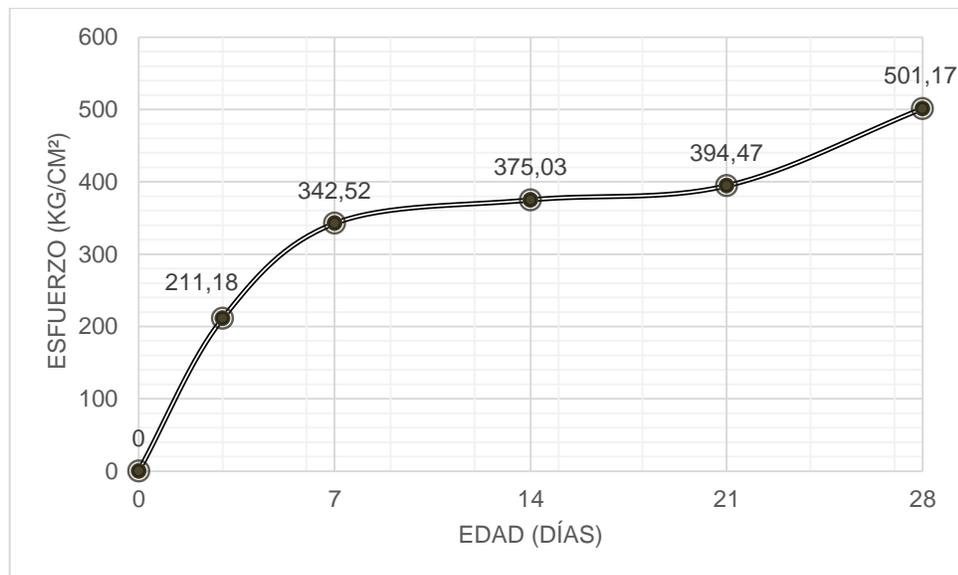
A continuación, se muestran los resultados obtenidos en promedio de los ensayos a compresión realizados en las 5 edades establecidas para el estudio y sus respectivas gráficas de resistencia a la compresión en función del tiempo, según las proporciones trabajadas con cada tipo de cemento.

Tabla XXX. Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25

No.	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)
1	3	211,18	20,70	3010
2	7	342,52	33,60	4880
3	14	375,03	36,80	5340
4	21	394,47	38,70	5620
5	28	501,17	49,10	7130

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25



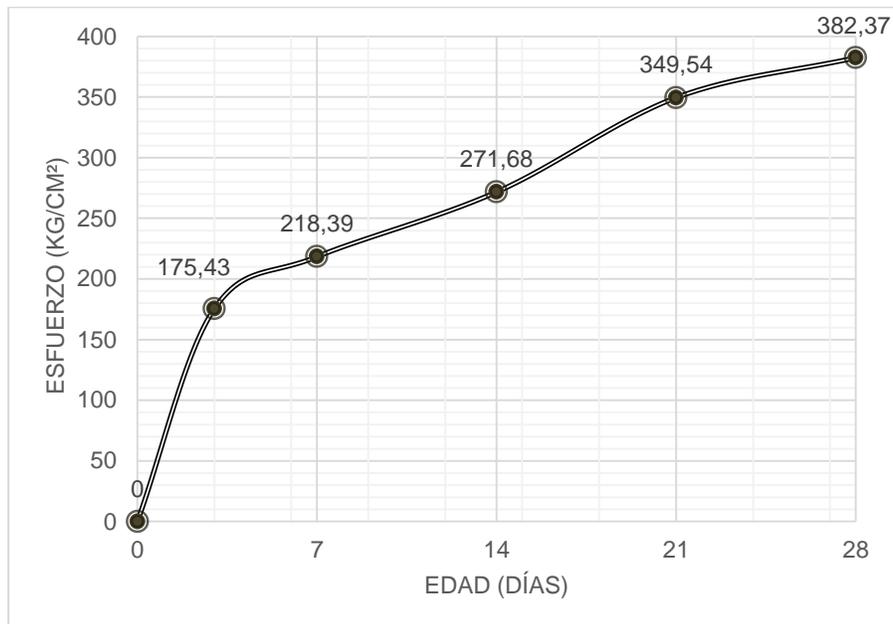
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento I PM en proporción 1:3

No.	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)
1	3	175,43	17,20	2500
2	7	218,39	21,40	3100
3	14	271,68	26,60	3860
4	21	349,54	34,30	4970
5	28	382,37	37,50	5440

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento tipo I PM en proporción 1:3



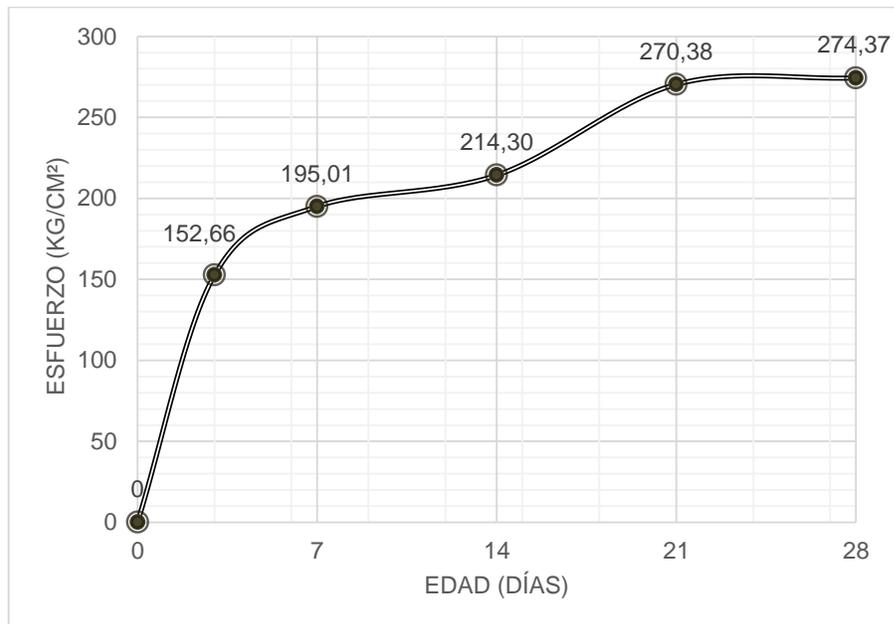
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25

No.	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (Mpa)	Esfuerzo (Psi)
1	3	152,66	15,00	2170
2	7	195,01	19,10	2770
3	14	214,30	21,00	3050
4	21	270,38	26,50	3850
5	28	274,37	26,90	3910

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfica de esfuerzo versus edad para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25



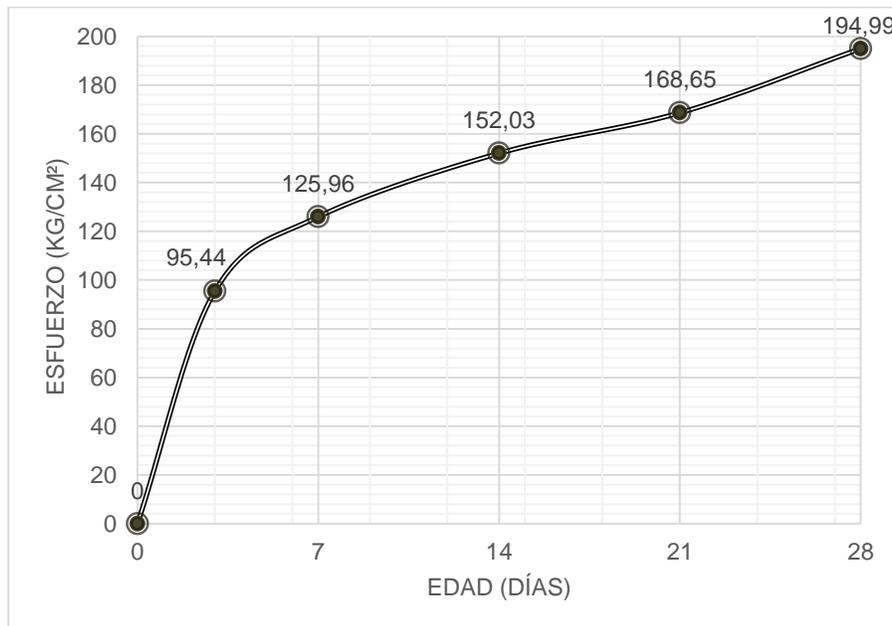
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Resistencia promedio a la compresión para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3

No.	Edad (días)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi
1	3	95,44	9,40	1360
2	7	125,96	12,30	1800
3	14	152,03	14,90	2170
4	21	168,65	16,60	2410
5	28	194,99	19,10	2770

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Gráfica esfuerzo versus edad para mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3



Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis y comparación de resultados

En el siguiente apartado se presenta el análisis correspondiente a los ensayos efectuados, según los parámetros establecidos en las normas para cada uno.

4.2.1. Agregado fino

El agregado fino, según sus características determinadas mediante los resultados de los ensayos, puede generar problemas de trabajabilidad, los cuales pueden ser fácilmente mitigados mediante el uso de cemento como conglomerante para conseguir la fluidez adecuada establecida según norma sin mayor dificultad, por lo que presenta buenas cualidades y no interferirá con el desarrollo de resistencia de los morteros.

4.2.2. Morteros de pega

Para los morteros de pega, se presenta a continuación una comparación de las características en estado fresco y endurecido que se evaluaron en función de los parámetros establecidos en las normas correspondientes.

- Trabajabilidad y retención de agua

El flujo de los morteros elaborados con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25 y 1:3, es de 108 % y 113 %, respectivamente. Los morteros elaborados con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25 y 1:3, mostraron flujos de 105 % y 109 %, respectivamente. Dichos flujos se encuentran en el rango establecido de 110 ± 5 % según la norma COGUANOR NTG 41 003 h4, cuyos valores garantizan que los morteros poseen una trabajabilidad adecuada.

En las cantidades de agua utilizadas para los morteros, se puede observar que en los morteros elaborados con cemento de mampostería tipo S, se utilizó una menor cantidad de agua para alcanzar los flujos adecuados, debido a que este material, es elaborado con cemento Portland y materiales plastificantes como cal hidratada o piedra caliza pulverizada que mejora las propiedades mecánicas del mortero.

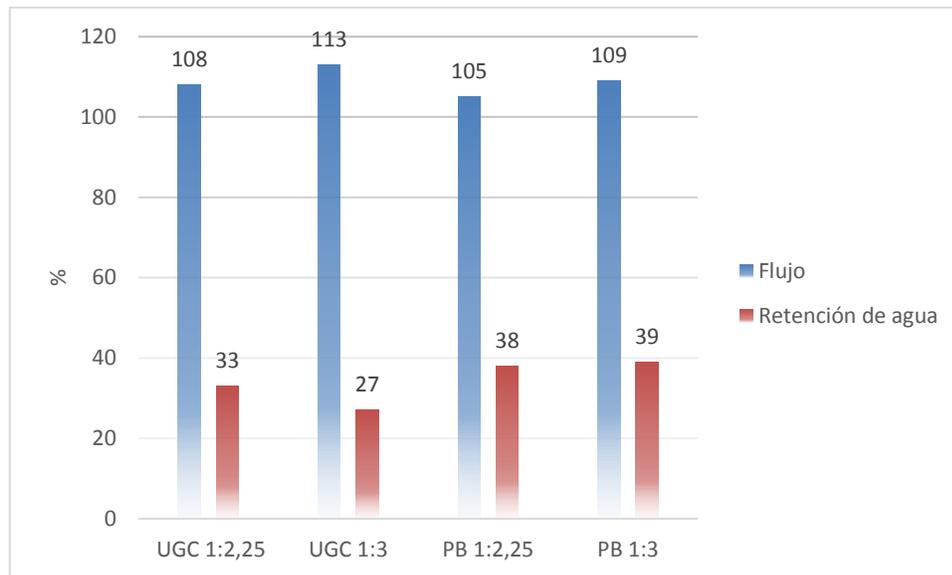
Tabla XXXIV. Retención de agua para los morteros elaborados con cementos tipo I PM y de mampostería tipo S

Retención de agua (%)			
Tipo I PM		Tipo S	
1:2,25	1:3	1:2,25	1:3
33,3	27,4	38,1	38,5

Fuente: elaboración propia.

La retención mínima establecida en la norma COGUANOR NTG 41 050, es de 75 %; por lo tanto, ninguna de las mezclas cumple con este criterio, lo cual pudo ser debido a que las mezclas no fueron elaboradas con un conglomerante que retenga el agua, como la cal, la cual retarda el fraguado del mortero y mejora la trabajabilidad del mismo. De igual manera, el agregado fino utilizado tiene bajo porcentaje de absorción (1,50 %); por esta razón, es posible que se le atribuya la poca capacidad de retención de agua, de manera que el tiempo de colocación de las unidades de mampostería se verá reducido y se correrá el riesgo de que aparezcan fisuras en las juntas de mortero si no se llega a tener un especial cuidado en obra, como humedecer las unidades de mampostería con antelación.

Figura 24. Comparación de flujo y retención de agua



Fuente: elaboración propia.

Aunque la norma COGUANOR NTG 41 050 permite utilizar el cemento de mampostería sin adicionar cal, en la gráfica anterior se puede observar que dicho arreglo de materiales puede generar poca o nula retención de agua en el mortero, por lo cual es recomendable incluir cal en los morteros, sacrificando la resistencia a la compresión. Por otra parte, se puede utilizar aditivos incorporadores de aire o retenedores de agua, los cuales mejoran las propiedades mecánicas del mortero e incrementan su durabilidad.

- Ensayo de compresión a cubos de mortero

Para los morteros elaborados con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25 y 1:3, la resistencia alcanzada a los 28 días fue de 501,2 y de 382,4 kg/cm², respectivamente. Estos morteros se clasifican según su resistencia, de acuerdo a la norma COGUANOR NTG 41 050, como morteros tipo M, debido a que

superan la resistencia a la compresión mínima dadas en las especificaciones por propiedades. Para los morteros elaborados con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25 y 1:3, la resistencia a la compresión a los 28 días fue de 274,4 y de 195,0 kg/cm², respectivamente; por lo tanto, se clasifican también como morteros tipo M.

Los morteros se pueden utilizar con bloques huecos de concreto clase “A” de 133 kg/cm², en estructuras donde se necesita alta resistencia a la compresión, cargas de sismo, tierra y viento; entonces, los morteros más adecuados son los que se fabricaron con cemento de mampostería tipo S. Sin embargo, esto se debe confirmar mediante ensayos a prismas de mampostería para determinar si las propiedades mecánicas que presentan en conjunto son las adecuadas para alcanzar la resistencia de diseño del levantado.

No obstante, en las construcciones actuales es posible que no se obtengan resultados como los del presente estudio, ya que los agregados que se utilizan normalmente cuentan con escaso control de laboratorio y son de baja calidad; además, el manejo de los mismos altera sus características, por lo que se produce un sobre costo en los levantados y desempeño deficiente.

A continuación se presentan las variaciones absolutas y relativas entre las resistencias a la compresión desarrolladas con los distintos cementos para proceder al análisis de la resistencia a la compresión alcanzada por los morteros.

Tabla XXXV. Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 y 1:3 con cemento tipo I PM

Resistencia a la compresión				
Edad	Tipo I PM (kg/cm ²)		Variación	
	1:2,25	1:3	Absoluta (kg/cm ²)	Relativa (%)
3	211,18	175,43	35,75	16,93
7	342,52	218,39	124,13	36,24
14	375,03	271,68	103,35	27,56
21	394,47	349,54	44,93	11,39
28	501,17	382,37	118,80	23,70

Fuente: elaboración propia

Tabla XXXVI. Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 y 1:3 con cemento tipo S

Resistencia a la compresión				
Edad	Tipo S (kg/cm ²)		Variación	
	1:2,25	1:3	Absoluta (kg/cm ²)	Relativa (%)
3	152,66	95,44	57,22	37,48
7	195,01	125,96	69,05	35,41
14	214,30	152,03	62,27	29,06
21	270,38	168,65	101,73	37,62
28	274,37	194,99	79,38	28,93

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Variación de la resistencia según edad de los morteros en proporción 1:2,25 con distinto cemento**

Resistencia a la compresión				
Edad	Tipo I PM (kg/cm²)	Tipo S (kg/cm²)	Variación	
			Absoluta (kg/cm²)	Relativa (%)
3	211,18	152,66	58,52	27,71
7	342,52	195,01	147,51	43,07
14	375,03	214,30	160,73	42,86
21	394,47	270,38	124,09	31,46
28	501,17	274,37	226,80	45,25

Fuente: elaboración propia.

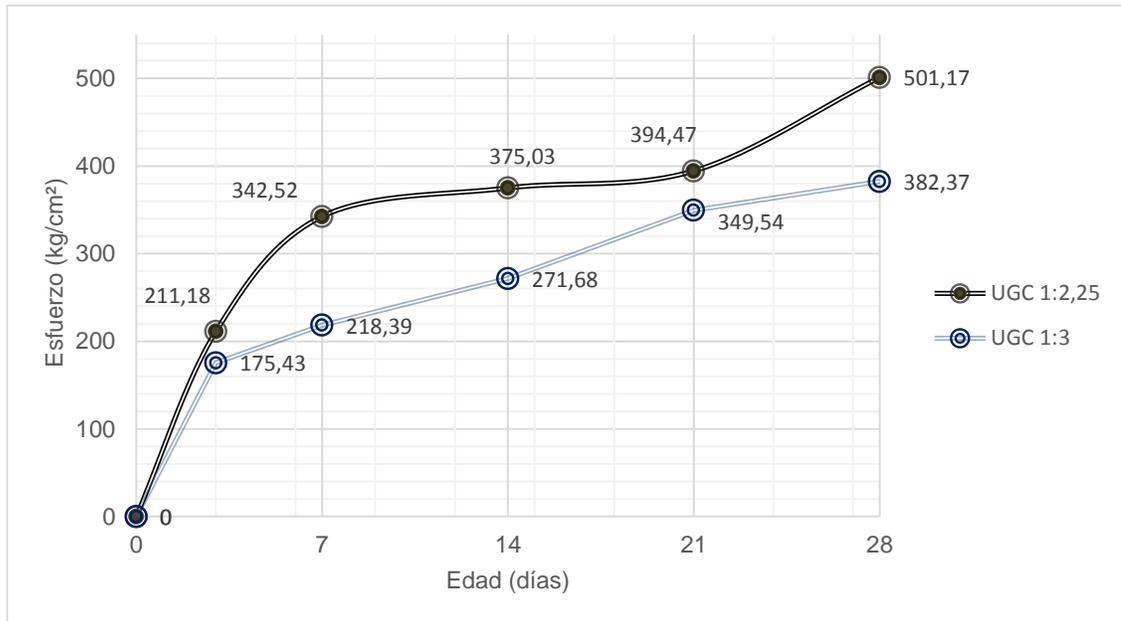
Tabla XXXVIII. **Variación de la resistencia a la compresión según la edad de los morteros en proporción 1:3 con distinto cemento**

4.2.2.1.1.

Resistencia a la compresión				
Edad	Tipo I PM (kg/cm²)	Tipo S (kg/cm²)	Variación	
			Absoluta (kg/cm²)	Relativa (%)
3	175,43	95,44	79,99	45,60
7	218,39	125,96	92,43	42,32
14	271,68	152,03	119,65	44,04
21	349,54	168,65	180,89	51,75
28	382,37	194,99	187,38	49,00

Fuente: elaboración propia.

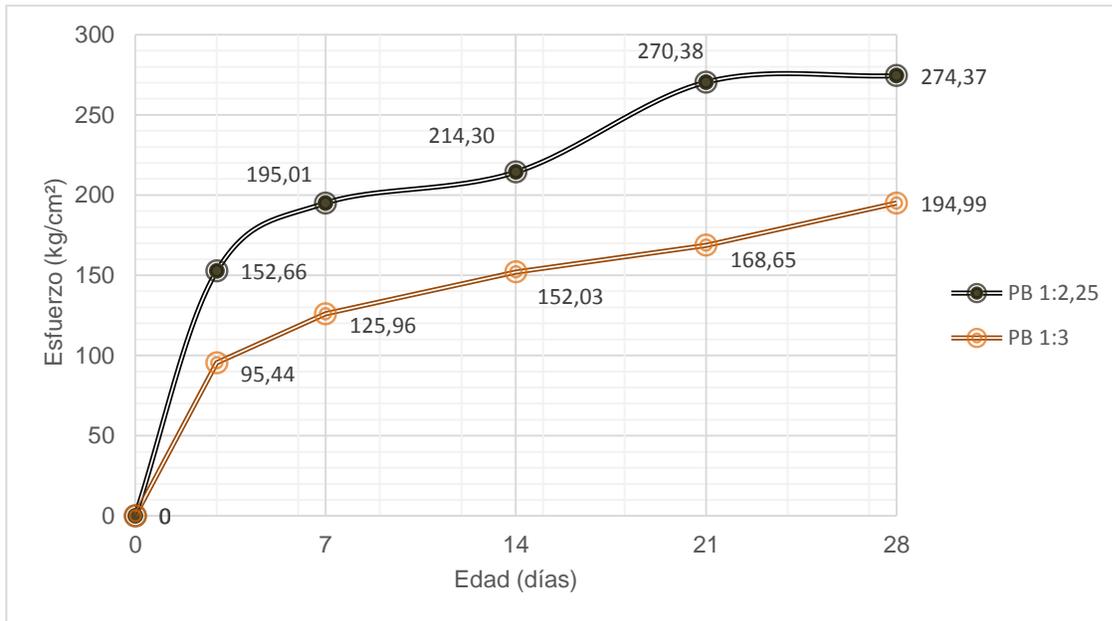
Figura 25. Gráfica comparativa de morteros con cemento tipo I PM



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior se observa que la resistencia a la compresión a los 28 días del mortero elaborado con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25 es mayor en un 23,70 % que el mortero en proporción 1:3, donde dicha propiedad se ve severamente disminuida por la cantidad de agregados presentes en la mezcla. La mayor diferencia en resistencia a la compresión entre las mezclas, en función de la edad, se ve a los 7 días, donde la proporción de 1:2,25 es 56 % mayor. Se puede observar que, al utilizar una mayor cantidad de cemento, la resistencia aumenta drásticamente, pero el mortero es propenso a sufrir fisuras debido a que se incrementa el requerimiento de agua y aumenta la relación agua/cemento, como se observa en las cantidades registradas de agua para los morteros. Al presentar poca capacidad de retención de agua, sus propiedades mecánicas se pueden ver alteradas por una inadecuada hidratación del cemento, así que es conveniente balancear los materiales adecuadamente.

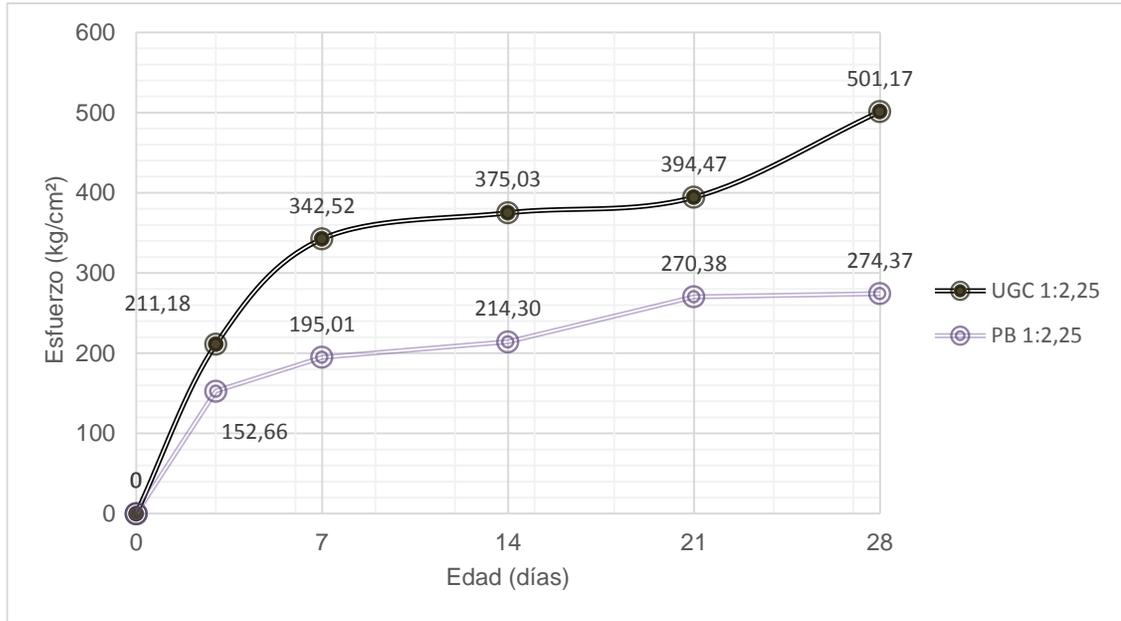
Figura 26. Gráfica comparativa de morteros con cemento tipo S



Fuente: elaboración propia.

La gráfica anterior muestra que la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días para el mortero con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25 es 28,93 % mayor que la resistencia del mortero en proporción 1:3. Se puede observar que las resistencias alcanzadas con el cemento de mampostería tipo S, son considerablemente más bajas que las alcanzadas con el cemento tipo I PM. Esto puede deberse a las adiciones de cal al cemento para mejorar sus características, lo cual genera fraguado más lento y menor resistencia.

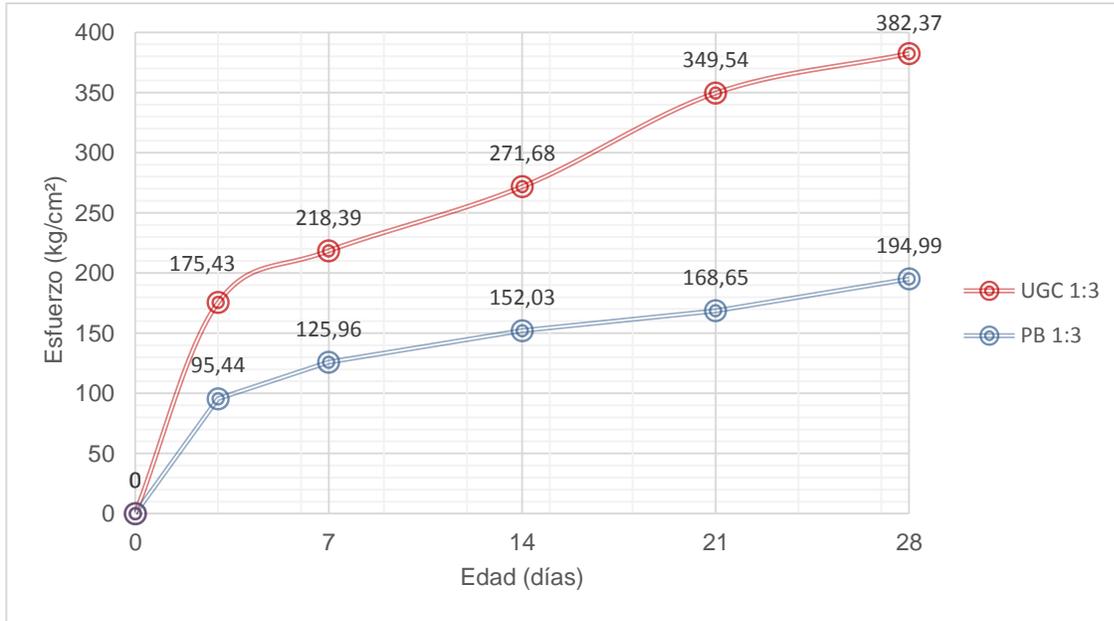
Figura 27. **Comparación entre morteros en proporción 1:2,25 y diferente cemento**



Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días para el mortero con cemento tipo I PM es 45,25 % mayor que el mortero con cemento tipo S, cuya edad es la que representa la mayor diferencia en resistencia en comparación con las otras edades. Se observa que el cemento tipo S, debido a su composición, mejora su trabajabilidad y adherencia, desarrolla menores valores de resistencia y se convierte en un mortero más óptimo para su uso en mampostería.

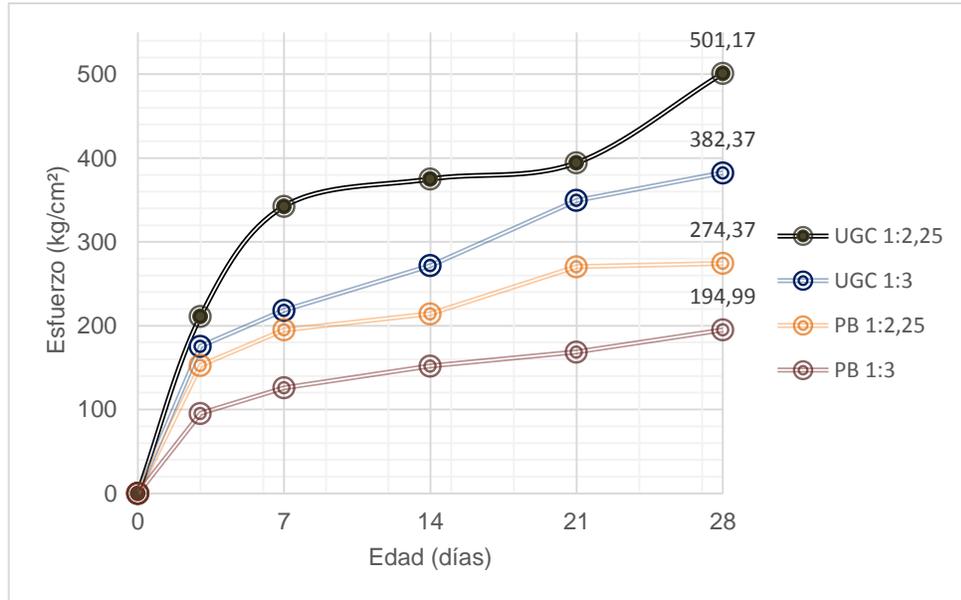
Figura 28. Comparación entre morteros en proporción 1:3 y diferente cemento



Fuente: elaboración propia.

La resistencia a la compresión a los 28 días para el mortero elaborado con cemento tipo I PM es 49,00 % mayor que el mortero con cemento tipo S. Igualmente, se ven las resistencias considerablemente menores debido al cemento utilizado. En este caso, el mortero más adecuado para uso en mampostería es el que se elaboró con cemento tipo S en proporción 1:3, debido que según la norma COGUANOR NTG 41 050, se debe tener una resistencia a la compresión mínima de 2500 psi (175 kg/cm²).

Figura 29. **Comparación entre morteros con cemento tipo I PM y de mampostería tipo S**



Fuente: elaboración propia.

En la gráfica anterior, se deduce que el mortero en proporción 1:3, elaborado con cemento de mampostería tipo S, es el que se encuentra más cercano al valor de resistencia mínima y posee el valor de retención de agua más elevado (39 %), de manera que se espera que tenga las mejores características de adherencia, trabajabilidad y tensión, entre otras. Los otros morteros se pueden utilizar en mampostería, ya que cumplen con la resistencia mínima y los flujos se encuentran en el rango permitido, excepto la retención de agua, por lo que se debe elegir el que tenga el mejor resultado de esta última propiedad. De igual manera se pueden utilizar, pero se debe tener especial cuidado con el tiempo de colocación de las unidades de mampostería y otras propiedades como la adherencia, tensión y flexión que comúnmente no se toman en cuenta al escoger un mortero.

- Comparación entre la resistencia a la compresión de los morteros y los bloques huecos de concreto

Para visualizar y contrastar de una manera adecuada las resistencias a la compresión entre los morteros y los bloques huecos de concreto, se calculó la variación relativa y absoluta entre ambas, con la finalidad de definir cuál mortero es el más adecuado.

Tabla XXXIX. **Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento tipo I PM a los 28 días en proporción 1:2,25 y la resistencia de la unidad de mampostería**

Resistencia del mortero (kg/cm ²)	Tipo de bloque hueco de concreto	F'm (kg/cm ²)	Variación	
			Absoluta	Relativa %
501,17	A	133,00	368,17	73,46
	B	100,00	401,17	80,05
	C	66,00	435,17	86,83

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento tipo I PM a los 28 días en proporción 1:3 y la resistencia de la unidad de mampostería**

Resistencia del mortero (kg/cm ²)	Tipo de bloque hueco de concreto	F'm	Variación	
			Absoluta	Relativa %
382,37	A	133,00	249,37	65,22
	B	100,00	282,37	73,85
	C	66,00	316,37	82,74

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S a los 28 días en proporción 1:2,25 y la resistencia de la unidad de mampostería**

Resistencia del mortero (kg/cm ²)	Tipo de bloque hueco de concreto	F'm	Variación	
			Absoluta	Relativa %
274,37	A	133,00	141,37	51,52
	B	100,00	174,37	63,55
	C	66,00	208,37	75,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Variación entre la resistencia del mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S a los 28 días en proporción 1:3 y la resistencia de la unidad de mampostería**

Resistencia del mortero (kg/cm ²)	Tipo de bloque hueco de concreto	F'm	Variación	
			Absoluta	Relativa %
194,99	A	133,00	61,99	31,79
	B	100,00	94,99	48,72
	C	66,00	128,99	66,15

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las tablas anteriores, todos los morteros tienen una variación relativa muy alta; es decir, están sobrediseñados para su uso en la construcción de estructuras de mampostería, por lo que resultaran antieconómicos si se utilizan en obra.

Las normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala establecen que la resistencia a

compresión del mortero de relleno (concreto expansivo) debe encontrarse entre 1,2 a 1,5 veces la resistencia a compresión de la unidad de la mampostería; por lo tanto, el mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3, puede utilizarse con este fin.

CONCLUSIONES

1. Las resistencias de los cuatro morteros elaborados en este trabajo, con las dosificaciones y materiales descritos en los capítulos correspondientes, clasificados como morteros tipo "M", superan de manera significativa la resistencia de las unidades de mampostería tipo bloques huecos de concreto para muros clase A de 133 kg/cm^2 .
2. El agregado fino proveniente de la cantera de la planta ubicada en Palín, Escuintla, presenta las características ideales para su uso en concretos y morteros, y tiene buena compatibilidad con los materiales conformantes del mortero.
3. Las dosificaciones estudiadas, seleccionadas según la norma COGUANOR NTG 41 050 y que generalmente se utilizan en la construcción sin control de laboratorio, generan mezclas de mortero resistencias muy altas que exceden los requisitos para el uso que tendrá el mortero.
4. La resistencia a la compresión para los morteros elaborados con cemento tipo I PM en proporción 1:2,25 fue de $501,17 \text{ kg/cm}^2$ y en proporción 1:3, fue de 382 kg/cm^2 .
5. La resistencia a la compresión para los morteros elaborados con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:2,25 fue de $274,37 \text{ kg/cm}^2$ y en proporción 1:3, fue de 195 kg/cm^2 .

6. El mortero elaborado con cemento de mampostería tipo S en proporción 1:3 tiene la resistencia a la compresión más baja de los cuatro morteros de este estudio, pero puede resultar sobrediseñado por encontrarse 31,79 % arriba de la resistencia del bloque hueco de concreto clase "A". Por otra parte, puede utilizarse como mortero de relleno para las celdas de mampostería reforzada interiormente por encontrarse en el rango de 1,2 a 1,5 veces la resistencia de la mampostería
7. El mortero elaborado con cemento tipo I PM, en proporción 1:2,25, es el que proporcionó la mayor resistencia y sobrepasa en 73,46 % la resistencia del bloque de concreto de clase "A", lo que comprueba que dicho cemento no es el más indicado para emplearse en levantados con el arreglo de materiales seleccionado. Por el contrario, se puede utilizar para mampostería donde existan grandes cargas como cimientos, muros de contención o en combinación con piedras.
8. Los morteros elaborados con cementos I PM y de mampostería tipo S del estudio no cumplen con los requerimientos de retención de agua del 75 % de la norma COGUANOR NTG 41 050, lo que limita el tiempo de colocación y altera el proceso de fraguado de los morteros.
9. Los morteros elaborados con cemento I PM y de mampostería tipo S del estudio cumplen con los requerimientos de flujo de 110 ± 5 %, como se indica en la norma COGUANOR NTG 41 050, por lo que se tendrá una manejabilidad adecuada en obra.
10. El cemento de mampostería tipo S es el más conveniente de utilizar para levantados, ya que los resultados de resistencia a la compresión son similares a las recomendadas por la norma COGUANOR NTG 41 050, y

cuyas características están mejoradas para obtener un buen desempeño en obra.

11. En la resistencia a compresión de los morteros de cemento hidráulico se ve la influencia de la cantidad de agregados presentes en la mezcla; a mayor cantidad de cemento, se obtendrán mayores resistencias, pero al tener un exceso del mismo, se aumentará la cantidad de agua necesaria para generar un flujo apropiado. Al haber baja retención de agua, se puede tener una mala hidratación del cemento en el mortero, lo que afecta su resistencia.
12. La capacidad de retención de agua de un mortero de pega, se ve influenciado, por la cantidad de agregados finos y materiales retenedores presentes en la mezcla.
13. Al utilizar agregados finos de alta calidad, es posible incrementar la cantidad en la proporción de los morteros, cuidando otras características importantes del mismo, como la trabajabilidad, retención de agua y resistencia a la compresión.

RECOMENDACIONES

1. Estudiar el comportamiento mecánico de cada mortero propuesto para pega de unidades de mampostería según los ensayos de laboratorio establecidos, ya que utilizar dosificaciones de uso común pueden dar como resultado mezclas que no cumplan con las especificaciones dadas para una determinada clase de mortero.
2. Realizar el análisis completo de los agregados finos por utilizar en la elaboración de los morteros, ya que estos presentan características físicas y propiedades mecánicas variables según el lugar de procedencia, de manera que se evite afectar el resultado final de las características del mortero.
3. Estudiar otras dosificaciones utilizando cal o que tengan mayor cantidad de agregado fino que se ajusten a las resistencias de otras unidades de mampostería.
4. Determinar la resistencia a la compresión de los morteros utilizados para pega de mampostería para verificar que se cumple con las especificaciones de la norma COGUANOR NTG 41 050 para su uso en mampostería, lo que asegurará un buen desempeño cuando la obra entre en servicio.
5. Realizar ensayos para evaluar el conjunto mortero-unidad de mampostería, con el propósito de comprobar que las propiedades mecánicas de cada uno de los materiales que lo conforman son

compatibles y alcanzan la resistencia de diseño requerida de la estructura de mampostería.

6. Evaluar la calidad de los bloques huecos de concreto para un levantado, de acuerdo con los requerimientos de las características físicas y propiedades mecánicas mínimas presentadas en la norma COGUANOR NTG 41 054 y 41 055 h1.
7. Evaluar el comportamiento mecánico de morteros elaborados con los cementos I PM y de mampostería tipo S, en conjunto con conglomerantes retenedores de agua para controlar el agua presente en la mezcla, con la finalidad de poder mejorar otras características importantes en un mortero y evitar sacrificar la resistencia a la compresión.
8. Al utilizar morteros con cemento sin adicionar cal, se debe tener especial cuidado en humedecer las unidades de mampostería previo a su uso, tiempo de colocación y de ajuste, ya que estos morteros, al contar con poca retención de agua, se pueden fisurar al fraguar.
9. Evaluar, de manera integral, la conveniencia de utilizar morteros únicamente con cemento y arena, en función de las características deseadas de un mortero, ya que pueden carecer de otras características más importantes que la resistencia a la compresión, como la resistencia de adherencia y a flexión en condiciones de obra.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75p.
2. Comisión Guatemalteca de Normas. *NTG 41 003 h4. Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50mm (2 pulg.) de lado*. Guatemala: COGUANOR, 2012. 26 p.
3. _____ . *NTG 41 007. Agregados para concreto. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR, 2012. 24 p.
4. _____ . *NTG 41 050. Mortero de pega para unidades de mampostería. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR, 2012. 35 p.
5. _____ . *NTG 41 054. Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR, 2012. 26 p.
6. FLORIÁN RAMÍREZ, Elida Yesenia. *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m²*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 138 p.

7. PÁEZ MORENO, Diego Fernando et al. *Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería*. [en línea] <<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n14/v8n14a05.pdf>> [Consulta: 1 de junio de 2017].
8. POLANCO, Juan y MARQUÍNEZ, Jesús. *Cementos, morteros hormigones*. [en línea]. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/811/course/section/868/1_Cementos.pdf> [Consulta: 4 de septiembre de 2018].
9. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de mampostería*. México: SMIE, 2017. 50 p.
10. VALDEZ MEDINA, Elizabeth Adriana. *Análisis de ciclo de vida (LCA) y aspectos medioambientales en el diseño estructural: estudio de caso y propuestas básicas*. Trabajo de graduación de Mtr. en Ingeniería. Universidad Autónoma de México, 2010. 201 p.

ANEXOS

Anexo 1. Mortero con cemento tipo I PM a 1:2,25

Resistencia a la compresión						
No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm²)	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi
7	14	300,9	21 500	25,86	37,0	5370
8	14	290,5	20 900	25,35	36,7	5330
9	14	300,4	21 400	25,96	36,7	5330
10	21	303,5	27 000	26,42	45,5	6600
11	21	291,8	23 000	25,65	39,9	5790
12	21	304,4	22 000	26,11	37,5	5440

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Anexo 2. Mortero con cemento tipo I PM a 1:3

Resistencia a la compresión						
No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga (lbf)	Área (cm²)	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi
7	14	304,0	15 700	26,11	26,7	3870
8	14	288,2	15 400	25,15	27,2	3950
9	14	289,1	15 200	26,06	25,9	3760
10	21	304,8	20 600	26,16	35,0	5080
11	21	305,9	20 000	26,21	33,9	4920
12	21	305,6	20 000	26,27	33,9	4920

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Anexo 3. Mortero con cemento de mampostería tipo S a 1:2,25

Resistencia a la compresión						
No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga ultima (lbf)	Área (cm²)	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi
7	14	301,2	13 100	26,06	22,4	3250
8	14	303,3	12 000	26,11	20,4	2960
9	14	304,2	12 000	26,37	20,2	2930
10	21	300,4	15 100	25,60	26,2	3800
11	21	304,4	15 700	26,21	26,7	3870
12	21	303,2	15 900	26,52	26,7	3870

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Anexo 4. Mortero con cemento de mampostería tipo S a 1:3

Resistencia a la compresión						
No.	Edad (días)	Peso (g)	Carga ultima (lbf)	Área (cm²)	Esfuerzo Mpa	Esfuerzo Psi
7	14	301,0	8 500	26,0	14,6	2120
8	14	301,9	9 000	25,9	15,5	2250
9	14	299,0	8 500	25,7	14,7	2130
10	21	299,8	11 000	25,81	19,0	2760
11	21	302,1	10 100	26,16	17,2	2500
12	21	296,9	9 300	26,01	15,9	2310

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Anexo 5. Informe de caracterización de agregados



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



ANÁLISIS COMPLETO DE AGREGADO FINO PARA CONCRETO
NORMA NTG 41007 h1 (ASTM C-33)
INFORME SACM - 097/18
HOJA 1/1

No. 12708

O.T. No. 38044

INTERESADO: Diana María Miltza Mérida González, Carné: 2013 14366.

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Resistencia a la compresión en morteros de pega, elaborados con Cemento Portland Tipo I PM y de mampostería Tipo S, según normas COGUANOR NTG 41095 y 41096".

DIRECCIÓN: Ciudad de Guatemala

EMISIÓN DE INFORME: 9 de marzo de 2018

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Densidad Relativa (sss)	2,64	Porcentaje de Absorción (%)	1,50
Densidad (sss) (kg/m ³)	2 630,00	Contenido de Materia Orgánica	1
Masa Unitaria, Compactada (kg/m ³)	1690,00	Pasa Tamiz # 200 (%)	4,40
Masa Unitaria, Suelta (kg/m ³)	1630,00	Retenido Tamiz 6,35 (%)	0,00
Porcentaje de Vacíos, Compactado (%)	36,00	Modulo de Finura	3,08
Porcentaje de Vacíos, Suelto (%)	38,00		

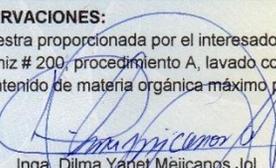


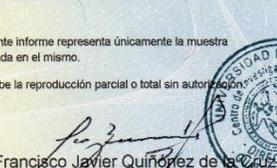
Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,18	0,60	0,30	0,15
% Que pasa	100,00	100,00	81,00	54,40	33,80	17,20	6,00

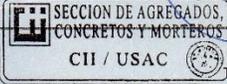
OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado.
- Tamiz # 200, procedimiento A, lavado con agua corriente.
- Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3

ATENTAMENTE,


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


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



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

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

**Anexo 7. Informe de resistencia a la compresión de morteros de pega
para cemento tipo I PM**



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



**INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS Y RETENCIÓN DE AGUA No. 12822
NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109) Y ASTM C-1506**

O.T. No. 38047
O.T. No. 38147

**INFORME SACM - 187/18
HOJA 1/2**

INTERESADO:

Diana María Militza Mérida González, Carné: 2013 14366

PROYECTO:

Trabajo de Graduación "Resistencia a la compresión en morteros de pega, elaborados con Cementos Portland tipo I PM y de Mampostería tipo S, según normas COGUANOR NTG 41095 y 41096".

DIRECCIÓN:

Ciudad de Guatemala.

EMISIÓN DE INFORME

9 de mayo de 2018

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CEMENTO UGC 1:2,25

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm ²	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	06/02/2018	3	26,672	12 100	20,20	2 930
2	06/02/2018	3	25,956	12 500	21,40	3 110
3	06/02/2018	3	26,006	12 000	20,50	2 980
4	06/02/2018	7	25,704	19 700	34,10	4 950
5	06/02/2018	7	26,163	19 400	33,00	4 790
6	06/02/2018	7	26,010	19 700	33,70	4 890
7	06/02/2018	28	26,419	28 600	48,10	6 980
8	06/02/2018	28	26,470	29 700	49,90	7 240
9	06/02/2018	28	25,854	28 700	49,40	7 170

Retención de Agua (%)					33,30	
------------------------------	--	--	--	--	--------------	--

CEMENTO UGC 1:3

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm ²	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	12/02/2018	3	26,010	10 100	17,30	2 510
2	12/02/2018	3	25,857	9 900	17,00	2 470
3	12/02/2018	3	25,703	10 000	17,30	2 510
4	12/02/2018	7	26,316	12 500	21,10	3 060
5	12/02/2018	7	25,908	12 700	21,80	3 160
6	12/02/2018	7	25,251	12 100	21,30	3 090
7	12/02/2018	28	25,857	21 000	36,10	5 240
8	12/02/2018	28	25,857	23 000	39,60	5 750
9	12/02/2018	28	26,111	21 600	36,80	5 340

Retención de Agua (%)					27,40	
------------------------------	--	--	--	--	--------------	--

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

Continuación anexo 7



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



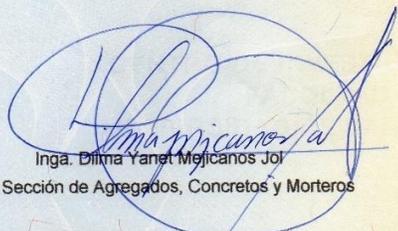
INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS Y RETENCIÓN DE AGUA No. 12811
NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109) Y ASTM C-1506
INFORME SACM - 187/18
HOJA 2/2

OBSERVACIONES:

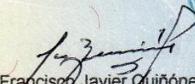
- a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- b) Temperatura ambiente:
 - 06/02/2018: 20,30 °C y humedad relativa 65 % del laboratorio.
 - 12/02/2018: 20,40°C y humedad relativa 65 % del laboratorio.
- c) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura de carga: 60 000 libras.
- d) Flujo de la mezcla:
 - CEMENTO UGC 1:2,25; 108%
 - CEMENTO UGC 1:3,00; 113%
- e) Proporción del mortero : 1 : 2.75 : 0.48.
 - CEMENTO UGC; 1 : 2,25 : 0,45
 - CEMENTO UGC; 1 : 3,00 : 0,55
- f) Se utilizo Cemento Progreso UGC.

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

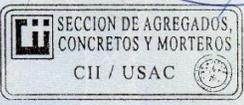
ATENTAMENTE,



Inga. Dilia Yanet Melicianos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



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



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

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.

Anexo 8. Informe de resistencia a la compresión de morteros de pega para cemento de mampostería tipo S



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



INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS Y RETENCIÓN DE AGUA No. 12821

NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109) Y ASTM C-1506

INFORME SACM - 186/18

HOJA 1/2

O.T. No. 38046

O.T. No. 38147

INTERESADO:

Diana María Militza Mérida González, Carné: 2013 14366

PROYECTO:

Trabajo de Graduación "Resistencia a la compresión en morteros de pega, elaborados con Cementos Portland tipo I PM y de Mampostería tipo S, según normas COGUANOR NTG 41095 y 41096".

DIRECCIÓN:

Ciudad de Guatemala.

EMISIÓN DE INFORME

9 de mayo de 2018

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

CEMENTO PB 1:2,25

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm ²	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	12/02/2018	3	25,705	8 500	14,70	2 130
2	12/02/2018	3	26,415	9 200	15,50	2 250
3	12/02/2018	3	25,704	8 500	14,70	2 130
4	12/02/2018	7	25,553	11 000	19,10	2 770
5	12/02/2018	7	25,502	11 000	19,20	2 790
6	12/02/2018	7	25,703	11 000	19,00	2 760
7	12/02/2018	28	26,419	14 900	25,10	3 640
8	12/02/2018	28	25,907	16 700	28,70	4 160
9	12/02/2018	28	25,908	15 700	27,00	3 920

Retención de Agua (%)

38,10

CEMENTO PB 1:3

No. CUBO	FECHA DE ELABORACIÓN	EDAD en días	Área cm ²	Carga lb	RESISTENCIA Mpa	RESISTENCIA lb/plg ²
1	12/02/2018	3	26,010	5 300	9,10	1 320
2	12/02/2018	3	25,603	5 400	9,40	1 360
3	12/02/2018	3	25,857	5 600	9,60	1 390
4	12/02/2018	7	25,908	7 000	12,00	1 740
5	12/02/2018	7	26,010	7 700	13,20	1 920
6	12/02/2018	7	25,857	6 900	11,90	1 730
7	12/02/2018	28	25,604	11 000	19,10	2 770
8	12/02/2018	28	25,907	8 500	14,60	2 120
9	12/02/2018	28	25,806	11 100	19,10	2 770

Retención de Agua (%)

38,50

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

Continuación anexo 8

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

INFORME DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE MORTEROS Y RETENCIÓN DE AGUA No. 12809
NORMA NTG 41003 h4 (ASTM C-109) Y ASTM C-1506

O.T. No. 38046 **INFORME SACM - 186/18**
O.T. No. 38147 **HOJA 2/2**

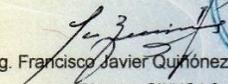
OBSERVACIONES:

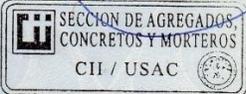
- a) Diseño de mezcla de mortero, bajo condiciones de laboratorio.
- b) Temperatura ambiente:
- 12/02/2018: 20,60 °C y humedad relativa 62 % del laboratorio.
- c) Muestras ensayadas en máquina de compresión RIEHLE Testing Machine División con capacidad de 300 000 libras, dial utilizado para lectura de carga: 60 000 libras.
- d) Flujo de la mezcla:
- CEMENTO PB 1:2,25; 105%
- CEMENTO PB 1:3,00; 109%
- e) Proporción del mortero :
- CEMENTO PB; 1 : 2,25 : 0,55
- CEMENTO PB; 1 : 3,00 : 0,70
- f) Se utilizo Cemento PegaBlock.

El presente informe representa únicamente la muestra identificada en el mismo.
Se prohíbe la reproducción parcial o total sin autorización.

ATENTAMENTE,


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


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



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

Fuente: Sección de agregados, concretos y morteros. CII-USAC. 2018.