



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

**EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS
FABRICADAS CON BARRO COCIDO**

Edwards Rolando Pérez López

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS
FABRICADAS CON BARRO COCIDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

EDWARDS ROLANDO PÉREZ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobar Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

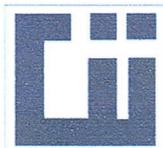
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS FABRICADAS CON BARRO COCIDO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 05 de noviembre de 2018.



Edwards Rolando Pérez López



Guatemala, 02 de marzo de 2020

Ingeniero
Wuillian Ricardo Yon Chavarria
Jefe del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero Yon:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS FABRICADAS CON BARRO COCIDO**, presentado por el estudiante Edwards Rolando Pérez López, quien se identifica con número de CUI 1635 57020 0101 y registro académico 200611042.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente



 Mario Rodolfo Corzo Avila
Ingeniero Civil
Colegiado No. 2089
Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala,
11 de marzo de 2020

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

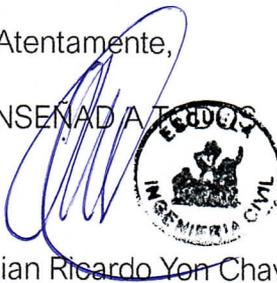
Estimado Ingeniero Aguilar.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS FABRICADAS CON BARRO COCIDO** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Edwards Rolando Pérez López, CUI 1635570200101 y No. De Registro Estudiantil 200611042 quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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,

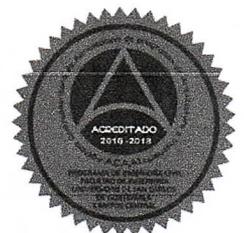
ID Y ENSEÑANZA A TODOS



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Ing. Civil Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

/mrrm.



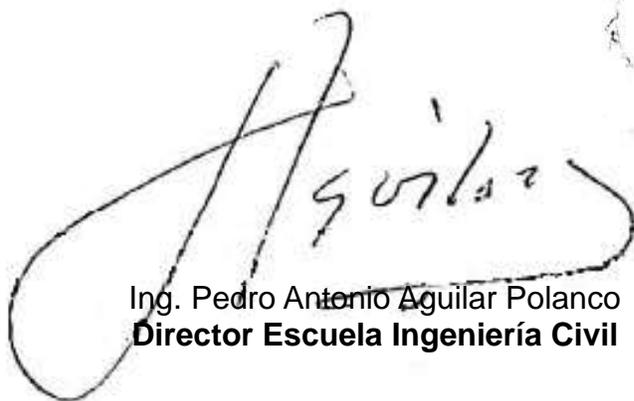
Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



Guatemala, 08 de septiembre de 2020
DEIC-TG-EIC-007-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ingeniero Wuilliam Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Edwards Rolando Pérez López, **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS FABRICADAS CON BARRO COCIDO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil



Interesado
Asesor
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102

DTG. 237E.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE MORTEROS PARA FIJACIÓN DE FACHALETAS FABRICADAS CON BARRO COCIDO**, presentado por el estudiante universitario: **Edwards Rolando Pérez López**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Porque sin su ayuda no podría lograr ninguna meta que me proponga en la vida.
Mis padres	Edwards Rolando Pérez Castellanos y Dominga Guadalupe López Rosales, quienes siempre me guiaron y brindaron su apoyo para poder cumplir con las metas más importantes de mi vida.
Mi hermano	Dennis Josué Pérez López, por ser un gran ejemplo de diligencia y dedicación.
Mi abuela	Maximiliana Rosales Pineda de López por su especial cariño hacia mi persona.
Mi tía	Rosa María López Rosales, por brindarme su apoyo, buenos consejos y siempre estar al pendiente de mis metas académicas.
Mis tías	Cristina Eulalia, Irma Maximiliana López Rosales. Por estar al pendiente de mí persona.

**Ing. Mario Rodolfo
Corzo Ávila**

Por su valiosa amistad y siempre brindar ayuda, conocimiento y sabios consejos a todos sus alumnos y personas que lo rodean.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir sus puertas al pueblo de Guatemala y darme la oportunidad de formarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por darme la oportunidad de pertenecer a esta grandiosa facultad y ser mí segundo hogar.
Mis amigos de la Facultad de Ingeniería	Alejandro Laínez, Bertha Solís, Ester Barrios, Wilfredo Hernández, por brindarme su amistad, apoyo y todas las buenas experiencias compartidas durante el tiempo como estudiantes universitarios.
Mis amigos de la sección de estructuras CII	Sharon Archila, Melissa Avalos, Sedwin Ramos, Carlos Velásquez, don Raúl Ortiz, Mario Monzón, Christopher Ramos, Christian Recinos, y a todos los que contribuyeron a culminar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Qué son fachaletas.....	1
1.2. Para qué sirven las fachaletas.....	1
1.3. Características de las fachaletas.....	2
1.4. Tipos de fachaletas	2
1.4.1. Fachaletas para interiores	2
1.4.2. Fachaletas para exteriores	2
1.5. Materiales usados en la fabricación de fachaletas	3
1.6. Fabricación de fachaletas con barro cocido	3
1.6.1. Arcilla roja.....	5
1.6.2. Proceso para fabricar fachaletas de arcilla roja.....	6
1.7. Instalación de fachaletas	10
1.7.1. Proceso para colocar fachaletas.....	10
2. MORTERO	11
2.1. Tipos de morteros.....	12
2.1.1. Mortero tipo M.....	13
2.1.2. Mortero tipo S	13

2.1.3.	Mortero tipo N.....	13
2.1.4.	Mortero tipo O	13
2.2.	Materiales usados para fabricar mortero.....	14
2.2.1.	Arena de río.....	15
2.2.2.	El cemento	15
2.2.3.	La cal.....	16
2.2.4.	El agua	16
2.3.	Morteros utilizados en Guatemala.....	18
2.3.1.	Morteros fabricados <i>in situ</i>	18
2.3.2.	Mortero premezclado	18
2.3.3.	Mortero pre dosificado.....	18
2.4.	Adherencia del mortero	19
2.4.1.	Adherencia química.....	20
2.4.2.	Adherencia mecánica.....	20
2.5.	Normas aplicables para los materiales utilizados en el diseño de mortero	21
2.6.	Propiedades mecánicas de los morteros	23
2.6.1.	Propiedades en estado plástico	23
2.6.1.1.	Trabajabilidad.....	23
2.6.1.2.	Retención de agua	24
2.6.1.3.	Contenido de aire	24
2.6.1.4.	Velocidad de endurecimiento	24
2.6.1.5.	Masa unitaria.....	25
2.6.1.6.	Resistencia a la penetración	25
2.6.2.	Propiedades en estado endurecido.....	26
2.6.2.1.	Adherencia	26
2.6.2.2.	Retracción	26
2.6.2.3.	Resistencia a la compresión.....	27
2.6.2.4.	Resistencia a tensión	27

	2.6.2.5.	Durabilidad.....	27	
	2.6.2.6.	Permeabilidad.....	28	
	2.6.2.7.	Eflorescencia	28	
	2.6.2.8.	Estabilidad volumétrica.....	28	
	2.6.2.9.	Resistencia al corte	29	
	2.6.2.10.	Resistencia a la flexión	29	
	2.6.2.11.	Apariencia.....	29	
2.7.		Normas para evaluar mortero.....	30	
	2.7.1.	En estado plástico	30	
		2.7.1.1.	Flujo y trabajabilidad en morteros..... 30	
		2.7.1.2.	Retención de agua y contenido de aire..... 30	
		2.7.1.3.	Masa unitaria	31
		2.7.1.4.	Resistencia a la penetración.....	31
	2.7.2.	En estado endurecido.....	31	
		2.7.2.1.	Resistencia a la compresión.....	32
		2.7.2.2.	Resistencia a la tensión.....	32
		2.7.2.3.	Resistencia a la flexión	32
		2.7.2.4.	Adherencia.....	32
3.		CONDICIONES AMBIENTALES	33	
	3.1.	Radiación solar.....	33	
	3.2.	Temperatura	34	
	3.3.	Humedad atmosférica.....	34	
		3.3.1.	Humedad relativa.....	35
	3.4.	Viento	35	
	3.5.	Precipitación	36	
	3.6.	Contaminación.....	37	
		3.6.1.	Fuentes de contaminación atmosférica	37

	3.6.1.1.	Estáticas.....	37
	3.6.1.2.	Móviles	37
3.7.		Vibraciones	38
	3.7.1.	Vibraciones generadas por tráfico vehicular.....	38
	3.7.2.	Carga de sismo	39
	3.7.3.	Carga de viento	39
4.		DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	41
4.1.		Materiales y equipo	41
	4.1.1.	Materiales.....	41
	4.1.2.	Equipo	43
4.2.		Características físicas de las fachaletas en estudio.....	48
4.3.		Morteros en estudio.....	51
	4.3.1.	Elaboración del mortero <i>in situ</i>	52
	4.3.2.	Colocación de las fachaletas.....	55
4.4.		Tipos de superficies en estudio.....	58
4.5.		Tipos de ensayos realizados.....	69
	4.5.1.	Ensayo adherencia inicial de fraguado rápido del mortero, Norma Coguanor NTG 41101 h1	69
		4.5.1.1. Determinación del tipo de rotura o falla.....	72
		4.5.1.2. Datos obtenidos del ensayo a tensión para los diferentes morteros	80
	4.5.2.	Ensayo de absorción de agua, Norma Coguanor NGO 41024 h4	88
	4.5.3.	Ensayo de razón inicial de absorción (succión), Norma Coguanor NGO 41024 h5.....	91
4.6.		Determinación de la energía de impacto para las fachaletas...	94

5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	99
5.1.	Presentación gráfica de resultados para ensayos de adherencia.....	99
5.2.	Resultados ensayo de absorción de agua para fachaletas ...	113
5.3.	Resultados ensayo de succión de agua para fachaletas.....	113
5.4.	Energía de impacto para las fachaletas en estudio	114
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA.....	121
	APÉNDICES	125
	ANEXO	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de fabricación de elementos cerámicos	4
2.	Arcilla agrietada	5
3.	Arcilla roja	6
4.	Molino de martillo	6
5.	Molino centrifugo	7
6.	Tolva de humectación para arcilla roja.....	7
7.	Máquina para moldear arcilla molida.....	8
8.	Moldes para fabricar fachaletas	8
9.	Fachaletas reposando en el sol	9
10.	Horno de secado para fachaletas	9
11.	Especificaciones de mortero	11
12.	Dosificaciones básicas para mortero.....	12
13.	Peso de los materiales del mortero.....	14
14.	Requisitos de la composición química del agua.....	17
15.	Esfuerzos mecánicos a la unión adhesiva	19
16.	Adherencia mecánica.....	21
17.	Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria	25
18.	Cemento, arena y agua potable	41
19.	Fachaletas de arcilla roja	42
20.	Pegamento epoxico.....	42
21.	Balanza electrónica	43
22.	Bandeja a prueba de fugas de agua	44
23.	Contrapesos de concreto	44

24.	Dinamómetro	45
25.	Horno... ..	45
26.	Marco metálico y malla de protección.....	46
27.	Mica.....	46
28.	Placa de acero con argolla	47
29.	Polea y cable de acero	47
30.	Muestra 1	48
31.	Muestra 2.....	49
32.	Muestra 3.....	50
33.	Cernido de materiales.....	52
34.	Cemento y arena	53
35.	Mezcla de cemento y arena.....	53
36.	Mezcla de cemento, arena y agua.....	54
37.	Mortero.	54
38.	Limpieza y humectación de superficie	55
39.	Humectación de fachaleta	56
40.	Distribución de mortero sobre la fachaleta.....	56
41.	Instalación de fachaleta	57
42.	Fachaleta instalada.....	57
43.	Superficie 1, cernido remolineado.....	59
44.	Superficie 2, repello liso	60
45.	Superficie 3, blanqueado liso	61
46.	Superficie 4, repello rustico.....	62
47.	Superficie 5, concreto liso.....	63
48.	Superficie 6, repello en condiciones de humedad	64
49.	Superficie 7, lechada de cemento y arena.....	65
50.	Superficie 8, cernido vertical	66
51.	Superficie 9, block natural.....	67
52.	Superficie 10, repello rugoso	68

53.	Ensayo de adherencia del mortero	70
54.	Sistema del ensayo de adherencia	70
55.	Aplicación de carga perpendicular a la fachaleta y lectura del dinamómetro durante el ensayo de adherencia	71
56.	Ubicación y preparación del equipo para el ensayo de adherencia	71
57.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el elemento cerámico, mortero 1 (falla B)	73
58.	Falla cohesiva en el elemento cerámico, mortero 2 (falla E).....	74
59.	Falla cohesiva en el soporte, mortero 1 (falla D).....	74
60.	Falla cohesiva en el soporte, mortero 2 (falla D).....	75
61.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 2 (falla A).....	75
62.	Falla adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte, mortero 1 (falla A).....	76
63.	Falla cohesiva en el soporte, mortero 4 (falla D).....	76
64.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 3 (falla A)	77
65.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 4 (falla A)	77
66.	cohesiva en el elemento cerámico, mortero 4 (falla E).....	78
67.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 3 (falla A)	78
68.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y la fachaleta, mortero 3 (falla B).....	79
69.	Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y la fachaleta, mortero 4 (falla B).....	79
70.	Secado de elementos cerámicos	88
71.	Peso de elementos cerámicos secos	89
72.	Elementos cerámicos en proceso de absorción de agua	89

73.	Secado de elementos cerámicos	91
74.	Succión de agua en elemento cerámico	92
75.	Conservación de la energía potencial y cinética para las fachaletas	95
76.	Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 1	99
77.	Valores promedio de esfuerzos vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 1	100
78.	Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 1	101
79.	Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 2	102
80.	Valores promedio de esfuerzos vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 2.....	103
81.	Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 2.....	104
82.	Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 3	105
83.	Valores promedio de esfuerzo vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 3.....	106
84.	Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 3.....	107
85.	Gráfica esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 4.....	108
86.	Valores promedio de esfuerzo vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 4.....	109
87.	Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 4.....	110
88.	Gráfica esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para los morteros en estudio.....	111
89.	Porcentaje de fallas para los ensayos de adherencia.....	112
90.	Altura (m) vs energía de impacto (Joules) para las fachaletas en estudio..	114

TABLAS

I.	Datos de muestra 1	48
II.	Datos de muestra 2	49
III.	Datos de muestra 3	50
IV.	Morteros utilizados para el ensayo de adherencia	51
V.	Superficies utilizadas para el ensayo de adherencia	58
VI.	Descripción del tipo de falla para el ensayo de adherencia	73
VII.	Factor para relacionar área de fachaleta con área de platina	81
VIII.	Datos de ensayo a tensión en mortero 1.....	82
IX.	Datos de ensayo a tensión en mortero 2.....	83
X.	Datos de ensayo a tensión en mortero 3.....	84
XI.	Datos de ensayo a tensión en mortero 4.....	85
XII.	Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 1	86
XIII.	Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 2	86
XIV.	Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 3	87
XV.	Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 4	87
XVI.	Resultados de absorción de agua, para las fachaletas	90
XVII.	Resultado del promedio de absorción de agua, para las fachaletas	90
XVIII.	Resultados de succión de agua, para las fachaletas	93
XIX.	Resultado del promedio de succión de agua, para las fachaletas	93
XX.	Datos de velocidad final teórica para fachaletas	96
XXI.	Datos de energía cinética teórica para fachaleta 1	97
XXII.	Datos de energía cinética teórica para fachaleta 2	98
XXIII.	Datos de energía cinética teórica para fachaleta 3	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
A	Área
A_f	Área de fachaleta
A_p	Área de platina
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
cm^3	Centímetro cubico
NaCl	Cloruro de Sodio
K	Energía cinética
P	Energía potencial
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	Filosilicatos
F	Fuerza
g	Gramos
C°	Grados Celsius
g/cm^3	Gramo por centímetro cubico
G	Gravedad
J	Joule
kg	Kilogramo
Kg/cm^2	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg/m^3	Kilogramo por metro cubico
Lb	Libra
M	Masa de la muestra

m_s	Masa de la muestra completamente seco
m_h	Masa de la muestra húmedo
m_f	Masa final de la muestra
m_i	Masa inicial de la muestra
m	Metro
mm	Milímetro
CaO	Oxido de calcio
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
PH	Potencial de hidrógeno
PSI	Pounds Square Inche (Libra por pulgada cuadrada)
R	Razón inicial de absorción
Ra	Resistencia a la adherencia
Σ	Sumatoria
t	Tiempo
Ton	Tonelada
V_f	Velocidad final

GLOSARIO

Absorción	Condición que experimenta una muestra de un material después de su inmersión en un fluido, este aumento de masa generalmente se expresa en porcentaje.
Adherencia	Resistencia que se opone a la separación en la superficie de contacto de dos materiales.
Aditivos	Sustancias que sirven para mejorar sus cualidades o proporcionarle otra que no tenía.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Aglomerante	Sustancia usada para unir fragmentos heterogéneos.
Arcilla	Constituida por agregado de silicatos de aluminio hidratado que procede de la descomposición de minerales de aluminio. Se utiliza como materia prima en la industria ladrillera y cerámica.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).

Barro	Cualquier objeto de cerámica o alfarería hecho de arcilla endurecida por cocción. Masa que resulta de la unión del suelo arcilloso con agua.
Basalto	Roca volcánica de color oscuro y de elevada densidad.
Block	Mampuesto prefabricado de forma artesanal e industrial, elaborado con hormigones finos o morteros de cemento en diferentes resistencias.
Caliza	Roca sedimentaria formada por carbonato cálcico. Se emplea en la industria del cemento.
Cemento	Sustancia de polvo fino hecha de argamasa de yeso, capaz de formar una pasta blanda al mezclarse con agua.
Cerámica	Arte de fabricar objetos de barro, para la construcción o decoración.
CII	Centro de Investigaciones de Ingeniería.
Cizallamiento	Deformación que sufre un cuerpo al aplicarle una fuerza tangencial en una de sus caras.
Clinker	Material que se obtiene previamente en la fabricación del cemento.

COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Cohesión	Enlace, adherencia de dos cosas entre sí o la materia de que están formadas.
Conglomerantes	Fragmentos de una misma o de diversas sustancias, con el fin de unirlos para obtener una masa compacta.
Ensayo	Procedimiento al que se somete una muestra para evaluar alguna característica en específico.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área, la aplicación de una fuerza sobre un área.
Estructura	Orden con que está compuesta una obra de ingenio. Conjunto de elementos interrelacionados que forman un todo.
Feldespatos	aluminio silicato de potasio, sodio o calcio, que forma parte de muchas rocas. Se usa en la fabricación de cristales y cerámicas.
Geografía	Ciencia que estudia la ubicación y distribución en el espacio de cuantos fenómenos y elementos se manifiestan en la superficie terrestre.
Hidróxidos	Combinación que deriva del agua por sustitución de uno de sus átomos de hidrogeno por un metal.

Hormigón	Mezcla uniforme de cemento, agua, arena y grava.
<i>In situ</i>	Elaborado en sitio.
Mampostería	Sistema constructivo formado por materiales simplemente acomodados o aglutinados.
Meteorología	Ciencia que estudia la atmosfera y los fenómenos producidos en ella y relacionados con el tiempo atmosférico, a fin de predecirlos y controlarlos.
Mortero	Mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, con posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción como ladrillos, piedras, blocks de hormigón, entre otros.
Pétreos	Dureza o textura que tiene otra característica propia de la piedra.
Prisma	Elementos de mampostería contruidos con bloques de concreto que simulan secciones de muros.
Savieta	Mortero fabricado de cemento arena y cal.
Silicato	Grupo de minerales constituidos esencialmente de silicio y oxígeno, asociados a otros elementos, como aluminio, calcio, hierro, magnesio, sodio, potasio, entre otros. Son los minerales dominantes en la corteza terrestre.

Sisa	Junta de mortero entre elementos de mampostería.
Succión	Es la diferencia absoluta entre la presión ambiental y la presión subatmosférica, expresada en pulgadas o milímetros de agua, es decir, la capacidad de imbibición de agua por capilaridad mediante la inmersión parcial del elemento en un periodo corto de tiempo.
Tamiz	Utensilio que cuenta con fina malla tensada que permite retener partículas sumamente delgadas.
Tecnología	Conjunto de los conocimientos técnicos y científicos aplicados a la industria.
Tracción	Tirar de alguna cosa para moverla o estirarla. Tipo de esfuerzo al que se somete un cuerpo cuando la dirección de la fuerza que actúa sobre el tiende a alargar su longitud.
Transeúnte	Transita o pasa por algún lugar.

RESUMEN

Las fachaletas fabricadas de barro cocido entran en la categoría de elementos decorativos frecuentemente utilizados como recubrimiento en obras civiles, siendo estas muy afectadas por el ambiente y las inclemencias meteorológicas, por esta razón es importante que la fachaleta quede suficientemente adherida a la superficie que se desea instalar para evitar accidentes que perjudiquen la integridad física como material de los transeúntes, se hará un análisis teórico del impacto que provocaría una fachaleta si esta se desprendiera de su lugar de instalación.

Esto pondrá en evidencia la importancia que tiene la mano de obra durante la realización del trabajo de colocación de dichas fachaletas, porque usualmente es usada la frase: La mala calidad del mortero donde se exime de responsabilidad la calidad de la mano de obra y las condiciones ambientales durante la construcción.

Se tomará en cuenta la materia prima para fabricar las fachaletas en estudio, así como los materiales para fabricar los morteros que se usan en la colocación de este tipo de fachaleta, las propiedades mecánicas y características físicas se evaluarán mediante los ensayos realizados usando normas nacionales. Se deberán emplear las especificaciones técnicas de cada material como indica el fabricante para su correcta instalación.

OBJETIVOS

General

Evaluar la capacidad de adherencia de los morteros propuestos.

Específicos

1. Analizar el sistema fachaleta, mortero y superficie para determinar las características físicas y propiedades mecánicas.
2. Calcular la resistencia a esfuerzos de tracción del mortero, utilizado en la fijación de fachaletas fabricadas con barro cocido.
3. Medir el porcentaje de absorción y succión de agua de las fachaletas.
4. Determinar el mortero de pega adecuado para resistir las diferentes condiciones ambientales y de superficie.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de graduación se presenta la descripción general sobre el comportamiento de morteros utilizados en la colocación de fachaletas fabricada a base de arcilla con alto contenido de hidróxidos de hierro y óxidos, las cuales se instalarán en distintos acabados de superficies con diferentes condiciones ambientales para poder evaluar su comportamiento según el medio que les rodea.

Para la evaluación de la capacidad de resistencia de los morteros de pega entre la superficie de colocación y la fachaleta en mención se hará a través del esfuerzo a tracción del sistema según norma COGUANOR NTG 41101 h1. Se tomarán en consideración las variables físicas, ambientales y mecánicas, para la interpretación de las evaluaciones y resultados de los mismos.

Se determinará la absorción de agua de las fachaletas utilizando la norma COGUANOR NGO 41024 h4. También se determinará la razón inicial de absorción (succión) de agua utilizando la norma COGUANOR NGO 41024 h5.

La finalidad de este trabajo es comparar los datos que se obtengan de los diferentes ensayos que se realizarán y concluir cuál mortero es más eficiente para instalar las fachaletas de barro cocido.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Los materiales para acabados han variado a lo largo de la historia de la arquitectura, su utilización ha dependido de varios aspectos, como la ubicación geográfica y los materiales propios del lugar, los cuales han sido generalmente los más utilizados, por otro lado también ha influido la tecnología, con la que se extraen y se aplican y por supuesto, en cada época ha habido una tendencia en la forma de su utilización, lo que define un estilo.¹

1.1. Qué son fachaletas

Elementos decorativos de diversas formas, texturas y colores. Con diferentes características físicas y propiedades mecánicas según el material con el cual fueron fabricadas. Se instalan principalmente como revestimiento en muros, columnas y cualquier superficie sólida en aplicaciones decorativas.

1.2. Para qué sirven las fachaletas

Sirven para simular una estructura de diferente acabado, con fines decorativos en el muro o superficie donde se coloca. En algunas ocasiones se utilizan para proteger las edificaciones de las inclemencias del tiempo. Su función puede variar desde lo estético, hasta recubrimientos acústicos u otros detalles específicos; se utilizan dependiendo de la función específica a la que se desee someter.

¹ VILLEDA, Ana. *Materiales actuales en la arquitectura de interiores*. p. 8.

1.3. Características de las fachaletas

Las fachaletas son fabricadas para que su instalación sea rápida y sencilla, se fabrican en una gran variedad de materiales, estilos y colores que buscan hacer de un lugar más cómodo y agradable a la vista, por ejemplo existen rústicas, rugosas, lisas, simétricas, asimétricas entre otras. Estas cualidades disminuyen la necesidad de mantenimiento y se pueden clasificar según sus usos o por sus propiedades físicas y mecánicas.

1.4. Tipos de fachaletas

En la actualidad se fabrican fachaletas para interiores y exteriores, pero ambos tipos de fachaletas se usan para decorar y dar elegancia a las edificaciones.

1.4.1. Fachaletas para interiores

En interiores se utilizan para revestir paredes, su función puede variar desde lo estético, hasta recubrimientos acústicos, térmicos u otros detalles específicos.

1.4.2. Fachaletas para exteriores

Las fachaletas en exteriores protegen a la edificación de las inclemencias del clima como la radiación solar, humedad, temperatura, viento y precipitación.

1.5. Materiales usados en la fabricación de fachaletas

Las fachaletas son formadas a partir de otros materiales como rocas o barro, sometidas a altas presiones y temperaturas que alteran la composición mineral de las mismas. Entre los materiales utilizados para la fabricación de fachaletas se puede mencionar:

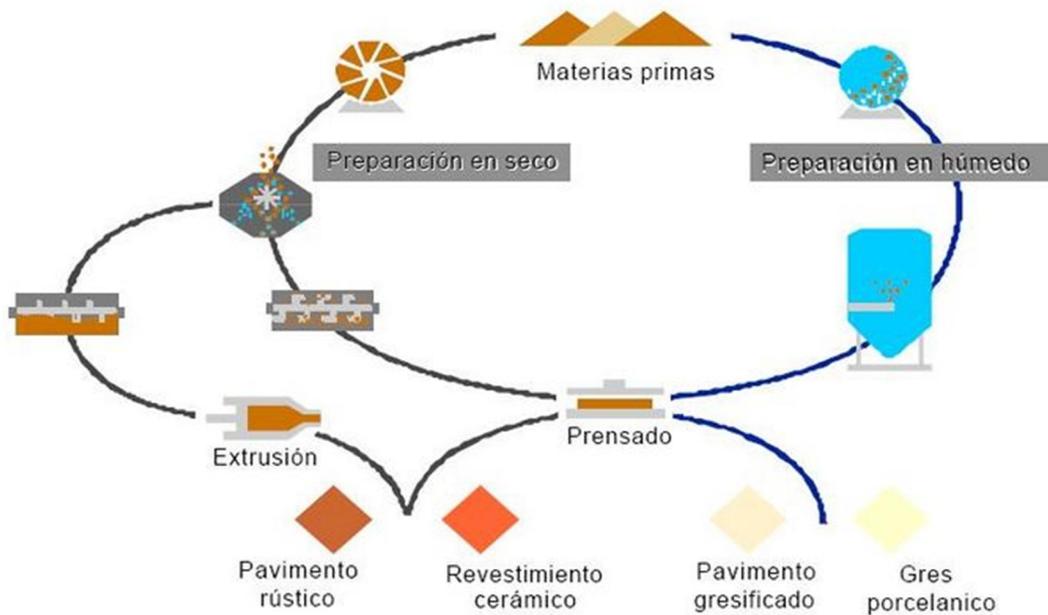
- Barro cocido
- Clinker
- Fibra de vidrio
- Fibrocemento
- Hormigón
- Madera
- Mármol
- Piedra caliza
- Piedra natural
- Plástico
- Poliéster

1.6. Fabricación de fachaletas con barro cocido

Arcilla es el material básico para la fabricación de piezas utilizadas en interiores y exteriores ya horneadas, a las que en general se les denomina cerámica. La palabra cerámica encierra muchos significados, viene del griego “keramikos”, que quiere decir sustancia quemada, desde los inicios de la historia el hombre descubrió la arcilla, mezcla de minerales con pequeñas sustancias orgánicas, y ha sido uno de los materiales más importantes, ya que abunda en la naturaleza, es fácil de mezclar y modelar.²

² VILLEDA, Ana. *Materiales actuales en la arquitectura de interiores*. p. 54.

Figura 1. **Proceso de fabricación de elementos cerámicos**



Fuente: VILLEDA, Ana. *Materiales actuales en la arquitectura de interiores*. p. 54.

- Se preparan las materias primas
- Molido y mezcla en seco o con agua (dependiendo que se fabricara)
- Prensado
- Modelación y secado de la pieza
- Esmaltado (si se requiere)
- Cocción (una o varias dependiendo que se fabricara)
- Tratamientos adicionales
- Clasificación y empaque

1.6.1. Arcilla roja

Llamada también barro rojo, el color de esta arcilla se debe a su alto contenido en hidróxidos de hierro y óxidos. Cocida presenta tonos rojizos, según la cantidad de óxido de hierro que intervenga en su composición. Por la finura que se puede conseguir con un buen acabado se utiliza sin esmaltar para decoración, aquí nos ocuparemos de la arcilla como material decorativo en la construcción en forma de fachaleta, la podemos encontrar fabricada de forma artesanal e industrial. La arcilla es una roca sedimentaria descompuesta constituida por agregados de silicatos de aluminios hidratados, presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde rojo anaranjado hasta blanco cuando es pura.

Es un mineral procedente de la descomposición de rocas que contienen feldespato, por ejemplo granito. Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.³

Figura 2. Arcilla agrietada



Fuente: 123RF. *Arcilla agrietada*. https://es.123rf.com/photo_79143224_textura-fondo-patr%C3%B3n-tierra-agrietada-arcilla-fondo-abstracto-de-la-naturaleza-con-la-tierra-agrietada.html. Consulta: diciembre de 2018.

³ AHUMADA, Moisés. *La arcilla*. https://www.academia.edu/37113580/La_Arcilla.

1.6.2. Proceso para fabricar fachaletas de arcilla roja

A continuación, se describen los procesos para fabricar fachaletas de arcilla roja.

Paso 1. Manualmente se reduce a elementos de $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada de diámetro.

Figura 3. **Arcilla roja**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 2. El material se coloca en un molino de martillo y es triturado por medio de piezas metálicas hasta obtener finura del material.

Figura 4. **Molino de martillo**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 3. Se coloca el material procesado en molino de bolas que funciona con un movimiento centrífugo con el fin de eliminar gran cantidad de granza.

Figura 5. **Molino centrífugo**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 4. Proceso de humectación, el material se coloca en una tolva de humectación y se rocía agua durante 10 a 15 minutos aproximadamente.

Figura 6. **Tolva de humectación para arcilla roja**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 5. Tolva alimentadora de máquina para prensar y moldear arcilla molida.

Figura 7. **Máquina para moldear arcilla molida**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 6. La arcilla roja procesada se coloca en moldes con diferentes medidas para prensar el material y obtener la forma final.

Figura 8. **Moldes para fabricar fachaletas**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 7. Dejar reposar y secar las fachaletas al sol durante cinco horas aproximadamente.

Figura 9. **Fachaletas reposando en el sol**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

Paso 8. Para finalizar el proceso, las fachaletas se colocan en hornos de secado aumentando la temperatura gradualmente hasta llegar a 1 100 C° aproximadamente 14 horas.

Figura 10. **Horno de secado para fachaletas**



Fuente: MEGAPRODUCTOS S.A. Planta Villa Nueva.

1.7. Instalación de fachaletas

La adecuada colocación y elección del material son la clave de su permanencia en el tiempo. El mortero usualmente se coloca entre unidades de mampostería absorbentes y tan pronto como hace contacto con estas empieza a perder agua, la cal mejora la trabajabilidad del mortero y la adherencia de la pasta a la unidad de mampostería.

Las mezclas que contienen cemento no deben re-trabajarse. El mortero debe irse haciendo mientras se coloca y nunca debe re-trabajarse al día siguiente, ni siquiera de la mañana a la tarde porque el cemento contenido en la mezcla ya fraguo y ya no es útil. Se debe hacer lo que pueda colocarse en menos de 2 horas.

1.7.1. Proceso para colocar fachaletas

- La superficie donde se instalara la fachaleta debe estar pareja y limpia
- Sumergir en agua las fachaletas y mantenerlas húmedas hasta el momento de su instalación
- El área deberá estar limpia y libre de humedad
- Preparar el mortero de levantado, según diseño predeterminado
- Empapar la pared antes de pegar la fachaleta
- Aplicar el mortero a la fachaleta cuidando que este cubierta completamente la cara
- Pegar las fachaletas a la pared, dejando su espacio de sisa
- Nivelar en ambos ejes la fachaleta

2. MORTERO

El mortero es una mezcla de material cementante, agregados y agua. Todos los morteros están obligados a cumplir con la norma ASTM C270. La cal hidratada se suele añadir al mortero para aumentar la trabajabilidad, capacidad de retención de agua y la elasticidad. Sin embargo, la adición de cal hidratada también disminuye la resistencia a la compresión.⁴

Figura 11. Especificaciones de mortero

Tipos de Morteros	Compresión a 28 días	Retención Mínima de Agua	Contenido Max. Aire
M	2500 psi	75%	12 ¹ %
S	1800 psi	75%	12 ¹ %
N	750 psi	75%	12 ¹ %
O	350 psi	75%	12 ¹ %

Fuente: CORZO, Mario. *Notas mampostericas de una sabandija*. p. 9.

El propósito del mortero de pega es unir las unidades de mampostería en un ensamblaje que actúa como un elemento integral. Sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, entre otros. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes. El mortero de pega influye en las propiedades estructurales del ensamblaje de mampostería, a la vez que reduce su permeabilidad.

⁴ CORZO, Mario. *Notas mampostericas de una sabandija*. p. 5.

En Guatemala, en la manera general de hablar, se reconocen dos clases de mortero: savieta y mezcla. La savieta es un mortero de cemento con arena de río; la proporción tradicional es 1 volumen de cemento y 3 de arena pero cada maestro de obra tiene su “secreto” (y no siempre sabemos si el “secreto” es eficaz). La mezcla, tradicional es de cal hidratada, sin cemento, con arena amarilla volcánica y antes se usaba para pegar ladrillos artesanales de barro cocido, es raro que se use para pegar blocks.⁵

2.1. Tipos de morteros

En Guatemala la norma para morteros es la COGUANOR NTG 41050. En esa norma hay tres clases principales de mortero de pega: M, S y N. El M es el más resistente, el S es intermedio y el N tiene menos resistencia. También existe el mortero Clase O su capacidad estructural es demasiado baja. El más parecido a la savieta tradicional es el mortero clase M. Hay que notar que en las tres clases siempre se recomienda usar algo de cal hidratada. La cal mejora la trabajabilidad del mortero y la adherencia de la pasta a la unidad de mampostería.

Las designaciones M, S, N, tienen su origen en los morteros definidos por las normas ASTM de los EUA y que se han adaptado a las normas COGUANOR.⁶

Figura 12. Dosificaciones básicas para mortero

CUADRO 5-C			
LAS CLASES DE MORTERO			
Mortero	Guía para las proporciones en volumen		
	Cemento	Cal hidratada	Arena de río
Tipo M	1	Desde 1/10 de cal hasta ¼ de cal	Combine el cemento y la cal y mida que volumen ocupan los dos juntos.
Tipo S	1	desde ¼ de cal hasta ½ de cal	La arena siempre será entre 2 ¼ y 3 veces ese volumen combinado.
Tipo N	1	desde ½ de cal hasta 1 de cal	
Manejo del agua: Agregue agua conforme la necesite tomando en cuenta qué tan húmeda está la arena el día que la use. Deje siempre la arena tapada para que no esté empapada ni reseca – las arenas empapadas o resacas no hacen buenas mezclas, salvo con la experiencia del maestro de obra.			

Fuente: MONZÓN, Héctor. *AGIES DSE 4.01*. p. 42.

⁵ MONZÓN, Héctor. *AGIES DSE 4.01*. p. 41.

⁶ *Ibíd.* p. 41-42.

2.1.1. Mortero tipo M

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

2.1.2. Mortero tipo S

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

2.1.3. Mortero tipo N

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

2.1.4. Mortero tipo O

El tipo O es un mortero de baja resistencia y mucha cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. El mortero tipo O se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo.⁷

⁷ ARRIOLA, José. *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería*. p. 53-54.

2.2. Materiales usados para fabricar mortero

Los morteros tienen cuatro componentes importantes: el cemento, la cal hidratada, la arena y el agua. El cemento unido con la cal forman la parte cementante y la arena siempre se dosifica en volúmenes que son múltiplos de esa parte cementante combinada.

El mortero es un compuesto de conglomerantes inorgánico, agregados finos y agua. Los conglomerantes más comunes en la actualidad son los de cemento aunque históricamente han sido la cal, la tierra y el yeso los más utilizados.

Figura 13. **Peso de los materiales del mortero**

Peso de los Materiales del Mortero	
Material	masa (kg/m³)
Cemento Portland	1505
Cemento mezclado	peso impreso en el saco
Cemento de mampostería	peso impreso en el saco
Cal hidratada	640
Cal plástica	1280
Arena, húmeda suelta	1280

Fuente: GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz.* p. 25.

2.2.1. Arena de río

“Es arena negra de basalto volcánico se encuentra en todo el sur y centro de Guatemala, hace años toda se sacaba de los ríos hoy en día se puede comprar triturada, si todavía es de río hay que cuidar que no sea de río con aguas negras. En el norte de Guatemala la arena es caliza y es cada vez más frecuente y cómodo obtenerla triturada”.⁸

2.2.2. El cemento

La palabra cemento define un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las calles, los asfaltos y los alquitranes.⁹

El cemento está formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse después de ponerse en contacto con el agua. Mezclado con agregados pétreos (grava, arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece, adquiriendo consistencia pétreo, denominada concreto.

⁸ MONZÓN, Héctor. *AGIES DSE 4.01*. p. 41.

⁹ MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. p. 12.

2.2.3. La cal

La cal se obtiene calcinando caliza y otras formas de carbonato de calcio. La cal pura, llamada también cal viva o cal cáustica, está compuesta por óxido de calcio (CaO), aunque normalmente los preparados comerciales contienen impurezas, como óxidos de aluminio, hierro, silicio y magnesio. Al tratarla con agua se desprenden grandes cantidades de calor y se forma el hidróxido de calcio, que se vende comercialmente como un polvo blanco denominado cal apagada o cal hidratada.¹⁰

La cal aérea es aquella que necesita la presencia de aire para carbonatar y endurecer. Es una cal que se combina y endurece con el dióxido de carbono presente en el aire. Cuando se amasa y se mezcla con agua, forma una pasta que mejora la trabajabilidad, características de escurrimiento, penetración y la retención de agua de los morteros.

2.2.4. El agua

Es el líquido que está presente en la elaboración de mezclas como mortero y concreto. Es un elemento tan importante como el cemento, ya que la variación de su contenido en una mezcla permite variar su resistencia, plasticidad, asentamiento, trabajabilidad y permeabilidad.

El agua que se usa para fabricar mezclas debe ser potable, cuando se desconoce la calidad del agua utilizada, su procedencia y composición química, se corre un gran riesgo, porque aunque la relación agua cemento sea la deseada, no se sabe si en el interior del concreto el agua provocará un beneficio o un inconveniente.

¹⁰ MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. p. 15.

Pueden interferir en la hidratación del cemento, producir modificaciones del tiempo de fraguado, reducir la resistencia mecánica, causar manchas en la superficie del concreto y aumentar el riesgo de corrosión de las armaduras.

Figura 14. **Requisitos de la composición química del agua**

USO	CONTENIDO ORGÁNICO Y CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Agua para elaborar concreto y mezclas	Sulfatos convertidos a (Na ₂ SO ₄)	300 ppm
	Cloruros Convertidos a (NaCl) MAX	300 ppm
	Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	10 ppm
	Sólidos totales en solución	1500 ppm
	Sólidos totales en suspensión	2000 ppm
	Turbidez máxima	1500 ppm
	PH no menor a	7
Agua para curado de concreto y lavado de agregados	Sulfatos convertidos a (Na ₂ SO ₄)	1500 ppm
	Cloruros convertidos a (NaCl) MAX	2000 ppm
Agua usada para riego	Sulfatos convertidos a (Na ₂ SO ₄)	400 ppm
	Cloruros convertidos a (NaCl) MAX	500 ppm
Agua usada en compactación	Debe ser incolora, no debe contener sólidos orgánicos en suspensión visibles y no debe usarse agua estancada	

Fuente: ARRIOLA, José. *Diseño de morteros con cementos hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería*. p. 10.

2.3. Morteros utilizados en Guatemala

Los morteros que se utilizan con mayor frecuencia en Guatemala, para la edificación de distintas obras se describen a continuación.

2.3.1. Morteros fabricados *in situ*

Son manejados de acuerdo al criterio de los maestros de obra y de los ingenieros supervisores a cargo, lo demuestra el estudio realizado en el trabajo de graduación del ingeniero Jorge Francisco Macal Rodríguez titulado “Morteros de Levantado para Mampostería en Áreas Urbanas”, en el cual se realizó una investigación de campo en 22 obras de construcción y los resultados obtenidos son once proporciones de morteros, las cuales fueron facilitadas por los maestros de obra, la proporción en volumen más utilizada es una de cemento y dos de arena de río (1:2).¹¹

2.3.2. Mortero premezclado

Sus componentes se han dosificado y mezclado en la fábrica antes de ser enviados al lugar de la construcción, donde se les puede añadir otros componentes especificados o suministrados por el fabricante. Se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

2.3.3. Mortero pre dosificado

Los conglomerantes y áridos fueron dosificados independientemente en la fábrica, para ser enviados al lugar de su utilización, donde se mezclarán en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

¹¹ GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz.* p. 15.

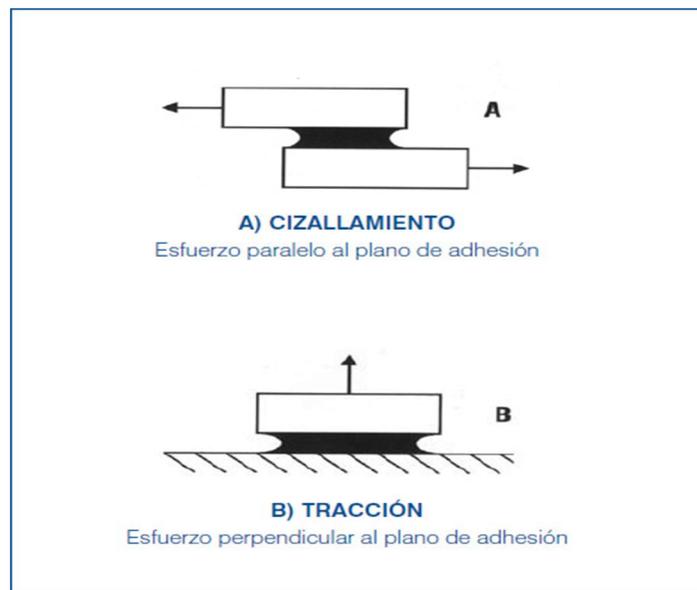
2.4. Adherencia del mortero

La adherencia tiene lugar cuando estamos frente a un sistema formado por dos materiales que pretendemos unir y que llamamos adherentes, y un segundo material que establece la unión y que denominamos junta o unión adhesiva. La adherencia se puede definir como la capacidad de transferir una fuerza procedente del adherente a través de la unión adhesiva.

Cuantificamos la adherencia por la fuerza que podemos aplicar a la unión adhesiva hasta el instante en que se manifiesta la disminución de dicha adherencia. Para medir la adherencia se somete a esfuerzo mecánico la unión adhesiva, hasta la rotura o pérdida de cohesión, disponiendo de dos métodos normalizados:

- De cizallamiento o cizalladura, cuando se aplica una fuerza paralela al plano de la unión adhesiva.
- De tracción, cuando la fuerza aplicada es perpendicular al plano de la unión adhesiva.¹²

Figura 15. Esfuerzos mecánicos a la unión adhesiva



Fuente: ANFAPA. *Adherencia*. <https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/179/introduccion-/1>. Consulta: diciembre de 2018.

¹² ANFAPA. *Adherencia*. <https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/179/introduccion-/1>.

2.4.1. Adherencia química

Este tipo de adherencia se produce por la formación de compuestos e interacción química entre moléculas, así como fuerzas electrostáticas de atracción a escala atómica o molecular. Estas uniones químicas o electrostáticas son las que producen la adherencia sobre superficies lisas o inabsorbentes. En el material predominan las fuerzas de cohesión, bien interatómicas o intermoleculares, a muy corta distancia.

“La modificación de los morteros de cemento con resinas también dió paso a la formulación de otros adhesivos donde ya no está presente el cemento e incluso la arena o árido. Entramos con ello en la formulación de adhesivos donde solamente se produce adherencia química, bien por evaporación del agua o el disolvente, o bien por reacción química entre sus componentes.”¹³

2.4.2. Adherencia mecánica

La adhesión mecánica se produce por la conexión que se crea en la hidratación del conglomerante (sea cal o cemento), al producirse silicato cálcico hidratado. Los filamentos o agujas actúan a corta distancia y confieren cohesión al mortero, enlazan y aglomeran los áridos presentes, son responsables de las características físicas del mortero una vez endurecido, y constituyen el anclaje a los poros y textura de las superficies con las que entran en contacto.¹⁴

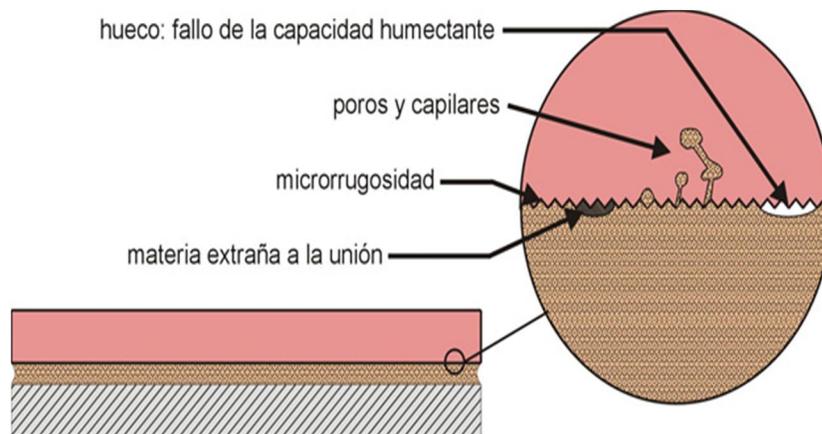
¹³ Institut de Promoció Ceràmica. *La adherencia química en los adhesivos*. www.ipc.org.es.

¹⁴ Institut de Promoció Ceràmica. *La adherencia mecánica en los morteros*. www.ipc.org.es.

Cuando en un recubrimiento cerámico hablamos de adherencia mecánica nos estamos refiriendo a un tipo de adherencia basado en la cohesión del adhesivo alcanzada en el proceso de hidratación de un mortero. Se caracteriza por:

- El acoplamiento mecánico entre adhesivo y adherente
- La capacidad humectante del adhesivo

Figura 16. **Adherencia mecánica**



Fuente: ANFAPA. *Adherencia*. <https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/179/introduccion-/1>. Consulta: diciembre de 2018.

2.5. Normas aplicables para los materiales utilizados en el diseño de mortero

Los materiales utilizados en Guatemala para diseñar mortero deben cumplir con las siguientes normas, para que las características físico mecánicas del mortero sean las adecuadas:

- Cemento portland
ASTM C-150 (Standard specification for portland cement); COGUANOR
NGO 41005 (Cemento portland, clasificación y especificaciones).
- Cemento hidráulico mezclado
ASTM C-595 (Standard specification for blended hydraulic cements).
- Cemento de mampostería
ASTM C-91 (Standard specification for masonry cement).
- Cal hidratada, tipo S
ASTM C-207 (Standard specification for hydrated lime for masonry
purposes); COGUANOR NGO 41018 (Cal hidratada, especificaciones).
- Cal viva
ASTM C-5 (Standard specification for quicklime for structural purposes).
- Agregados finos
ASTM C-144 (Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar);
COGUANOR NGO 41066 (Agregados o áridos, especificaciones de los
agregados para morteros de albañilería).
- Agregados gruesos (para morteros de rellenos)
ASTM C-404 (Standard Specification for Aggregates for Masonry Grout).

- **Aditivos**
ASTM C-494 (Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete); COGUANOR NGO 41070 (Hormigón, aditivos químicos, especificaciones).
- **Aditivos inclusores de aire**
ASTM C-260 (Standard Specification for Air Entraining Admixtures for Concrete); COGUANOR NGO 41069 (Hormigón, aditivos incorporadores de aire, especificaciones).

2.6. Propiedades mecánicas de los morteros

A continuación, se presentan las características de los morteros según el estado en el que se encuentren.

2.6.1. Propiedades en estado plástico

Cuando los morteros se encuentran en estado manipulable, estos presentan ciertas características que definirán su comportamiento y cómo reaccionarán en estado endurecido.

2.6.1.1. Trabajabilidad

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

2.6.1.2. Retención de agua

Capacidad del mortero para mantener su plasticidad, cuando entra en contacto con una superficie absorbente. La cal mejora esta propiedad del mortero debido a su capacidad plastificante, aunque actualmente se tienen otras alternativas igualmente satisfactorias, como el uso de aditivos plastificantes y agentes incorporadores de aire.

La retención de agua afecta en la velocidad de endurecimiento y la resistencia final a la compresión del mortero, una mezcla incapaz de retener agua no permite el desarrollo de adherencia.

2.6.1.3. Contenido de aire

Se refiere a la cantidad de vacíos existentes en el mortero, el contenido de aire mejora la trabajabilidad pero disminuye la resistencia mecánica, la adherencia y la permeabilidad.

2.6.1.4. Velocidad de endurecimiento

La velocidad de fraguado del mortero debe estar entre límites adecuados, para no tener problemas durante o después de instalar los elementos de mampostería. Los factores que afectan el fraguado del mortero son las condiciones ambientales, la composición de la mezcla y la mano de obra, en la actualidad existen aditivos que ayudan al control del fraguado.

2.6.1.5. Masa unitaria

Es la relación entre la masa de una cantidad dada de mortero y el volumen absoluto que ocupa dicha masa. Cuando se tiene un mortero con gran densidad es probable que su resistencia sea alta, siendo lo contrario cuando el mortero tiene poca densidad. Al determinar la masa unitaria se observa que está influenciada por la cantidad de vacíos y por el contenido de humedad.

Figura 17. **Clasificación de los morteros de acuerdo a su masa unitaria**

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

Fuente: ARRIOLA, José. *Diseño de morteros con cemento hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería*. p. 14.

2.6.1.6. Resistencia a la penetración

La relación de fraguado del mortero debida a la hidratación del cemento, es la velocidad a la que éste desarrolla su resistencia para soportar cargas. Un fraguado inicial muy rápido puede entorpecer el manejo del mortero por parte del albañil, mientras que un fraguado final muy lento dificultaría el progreso de la obra, puesto que en tal caso el mortero fluye de los muros recién terminados.

El fraguado se confunde a veces con la rigidez causada por la pérdida rápida de agua, la cual se presenta, por ejemplo, cuando se utiliza un mortero de baja retención de agua y piezas muy absorbentes.¹⁵

¹⁵ GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*. p. 31.

2.6.2. Propiedades en estado endurecido

A continuación, se describen las propiedades que presentan los morteros en estado endurecido.

2.6.2.1. Adherencia

Es la capacidad que tiene el mortero de resistir esfuerzos perpendiculares o paralelos al plano de adhesión, las superficies rugosas ayudan a la adherencia mecánica del mortero, también el porcentaje de absorción debe ser proporcional a la retención de agua del mortero.

Los morteros deben obtener la adherencia adecuada para soportar los esfuerzos estructurales causados por sismos, vientos, cambios de temperatura, contracción o expansión de los materiales.

2.6.2.2. Retracción

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

Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la composición química del cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y agregados de buena granulometría con pocos finos.¹⁶

¹⁶ MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. p. 8-9.

2.6.2.3. Resistencia a la compresión

Frecuentemente los morteros deben soportar grandes cargas a compresión, estas provocan esfuerzos de corte y tensión.

Hay dos leyes fundamentales que se aplican a la resistencia de un mortero compuesto del mismo cemento con diferentes proporciones y tamaños de agregado, la primera dice: con un mismo agregado, el mortero más resistente e impermeable es aquel que tiene mayor porcentaje de cemento en un volumen dado de mortero; y la segunda: con el mismo porcentaje de cemento en volumen de mortero, el más resistente y generalmente más impermeable es aquél que tenga la mayor densidad, o sea aquél que en una unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.¹⁷

2.6.2.4. Resistencia a tensión

Las estructuras frecuentemente están sometidas a combinaciones de esfuerzos y tensiones diagonales, debido a la fuerza del viento, carga sísmica, hundimientos diferenciales o la acción de cargas gravitacionales, la resistencia a la tensión del mortero es baja, pero es importante conocerla por las razones mencionadas anteriormente.

2.6.2.5. Durabilidad

Es la resistencia a los agentes externos como las bajas temperaturas, la penetración del agua, desgaste por abrasión, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros, sin deterioro de sus condiciones físico-químicas con el tiempo. En general, se cree que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad, sin embargo, el uso de agentes inclusores de aire es de particular importancia en ambientes húmedos, ambientes marinos y en general en condiciones de ambiente agresivo.¹⁸

¹⁷ MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. p. 10.

¹⁸ *Ibíd.* p. 11.

2.6.2.6. Permeabilidad

Es la propiedad de dejar filtrar el agua, aire u otro fluido a través de su estructura. Los morteros trabajables pueden ser más resistentes a la permeabilidad del agua. Cuando un mortero no es trabajable se pueden producir grietas que favorezcan alguna filtración, aunque teóricamente ningún mortero es precisamente impermeable.

2.6.2.7. Eflorescencia

“Es la cristalización de las sales solubles y es causada por el movimiento de agua de adentro hacia fuera de la pared. Ya que todos los materiales de mampostería contienen sales solubles en agua, que al contacto con ella se cristalizan, la cal hace al mortero menos permeable y así evita la eflorescencia”.¹⁹

2.6.2.8. Estabilidad volumétrica

Los morteros tienen un bajo módulo de elasticidad. Esto es conveniente para garantizar su extensibilidad, a efecto de soportar la mampostería expansiva (ladrillos de arcilla) o la contracción (como la de bloques de concreto). El módulo de elasticidad más común es de $2,1 \times 10^5$ kg/cm², pero varía de producto en producto, la edad del mortero, así como su proceso y control de curado.²⁰

¹⁹ MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. p. 11.

²⁰ GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*. p. 34.

2.6.2.9. Resistencia al corte

Las cargas laterales inducidas por viento o sismo, es necesario evaluar adecuadamente la resistencia a cortante. Los esfuerzos de corte son combinados con los esfuerzos de compresión producidos por cargas gravitatorias u otras acciones. El cortante puro (no tiene aplicación práctica), por lo que, la resistencia a corte de la mampostería se investiga considerando el efecto de los esfuerzos de compresión en la dirección normal a las juntas horizontales. En otros casos, de esfuerzos más complejo (esfuerzos biaxiales) es necesario utilizar un criterio de falla general para evaluar la resistencia de la mampostería.

La falla por fricción cortante ocurre para esfuerzos normales de compresión bajos, por la unión débil entre mortero-unidad, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales.²¹

2.6.2.10. Resistencia a la flexión

El mortero es un material frágil, al comparar su resistencia a la flexión con su resistencia a compresión vemos que la primera es muy baja y poco representativa al momento de diseñar mampostería. Un mortero mantiene adheridas unidades de mampostería entre sí, tratando de que se comporten como una estructura monolítica, y juntos van a soportar combinaciones de esfuerzos, las cuales en su mayoría son de flexo compresión. Es importante conocer el módulo de ruptura ya que estos esfuerzos combinados provocaran grietas y fisuras en las juntas de los muros.²²

2.6.2.11. Apariencia

Frecuentemente se construyen estructuras en las cuales el mortero queda a la vista, por ejemplo en el levantado de muros y la colocación de elementos decorativos como las fachaletas. Para lograr una apariencia agradable la mezcla debe tener la correcta plasticidad y también hacer la adecuada selección y dosificación de sus componentes. Actualmente hay colorantes y aditivos especiales que pueden mejorar el color y la textura del mortero.

²¹ CORZO, Mario. *Notas mamposterías de una sabandija*. p. 30.

²² GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*. p. 35.

2.7. Normas para evaluar mortero

Los morteros utilizados en Guatemala deben cumplir con las siguientes normas, tanto en estado plástico como en estado endurecido.

2.7.1. En estado plástico

Para determinar la adaptabilidad del mortero, cuando se encuentra en estado manipulable debe cumplir con las siguientes normas.

2.7.1.1. Flujo y trabajabilidad en morteros

- COGUANOR NGO 41 003 h4 (Cementos hidráulicos. Determinación de la resistencia a compresión usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado).
- COGUANOR NGO 41 011 (Cementos hidráulicos. Especificaciones de la mesa de flujo para uso en ensayos).
- ASTM C-230 (Specification for flow table for use in test of hydraulic cement).
- ASTM C-1437 (Standard test method for flow of hydraulic cement mortar).

2.7.1.2. Retención de agua y contenido de aire

- COGUANOR NGO 41020 h2 (Cal Hidratada. Determinación de la retención de agua).

- ASTM C-110 (Standard test methods for physical testing of quicklime, hydrated lime, and limestone).
- ASTM C-1506 (Standard test method for water retention of hydraulic cement-based mortars and plasters).

2.7.1.3. Masa unitaria

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

2.7.1.4. Resistencia a la penetración

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

2.7.2. En estado endurecido

A continuación, se describen las normas que especifican las propiedades de los morteros en estado endurecido.

2.7.2.1. Resistencia a la compresión

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

2.7.2.2. Resistencia a la tensión

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

2.7.2.3. Resistencia a la flexión

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

2.7.2.4. Adherencia

- COGUANOR NTG 41101 h1 (Métodos de ensayo para el cumplimiento de las especificaciones de adhesivos premezclados en seco a base de cemento hidráulico para piezas cocidas, sin cocer y piedras naturales).

3. CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales influyen en el envejecimiento y deterioro de las obras civiles. El clima afecta directamente a los materiales empleados en la construcción por esa razón es importante antes de iniciar una obra, estudiar el entorno que las rodea para usar métodos y materiales eficientes.

Los principales factores ambientales que afectan a las construcciones son la radiación solar, temperatura, humedad, vientos, precipitación, contaminación y las vibraciones causadas por fuerzas externas. Estos elementos deben ser estudiados en las etapas iniciales de un proyecto.

3.1. Radiación solar

La radiación solar o energía que el Sol emite, recibida en la superficie terrestre, es la fuente de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso del día y del año. La radiación es un proceso físico, por el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas. Esa transmisión se realiza en línea recta a una velocidad de 300 000 kilómetros por segundo, y sin la intervención de una materia intermedia ponderable como portadora de energía. La radiación solar que llega al límite superior de la atmósfera está formada por rayos de distinta longitud de onda, siendo estos los rayos ultravioleta o químicos, los rayos luminosos y los rayos térmicos o caloríficos.

La incidencia de la radiación solar puede ser determinada en función de la dirección y de la inclinación de los rayos, para lo cual se utilizan ábacos o cartas solares que nos muestran gráficamente el ángulo de elevación respecto a la horizontal y el azimut o ángulo de desviación respecto al Sur. Este análisis debe tenerse muy presente tanto en el diseño de una obra nueva como en la evaluación del comportamiento de una edificación y su posterior reacondicionamiento.²³

²³ SAGASTUME, Wendy. *Influencia de los factores climáticos en el diseño para la vivienda urbana ubicada en climas extremos*. p. 11.

3.2. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que se refiere a la sensación de frío o caliente al tocar alguna sustancia. Cuando se agrega calor a una sustancia sus átomos se mueven más rápido y su temperatura se eleva, o viceversa.

Está influenciada por la radiación solar, el viento, la geografía, la altura sobre el nivel del mar, el relieve del terreno, la vegetación, la topografía y algunas condiciones meteorológicas. Su valor influye en la evaporación, radiación y movimiento de aire.

En todo el territorio nacional, debido primordialmente a los grandes contrastes producidos por las cadenas montañosas que atraviesan el país, la situación térmica es muy variada, existiendo zonas muy altas donde se registran temperaturas bajo cero, como por ejemplo Totoncapán, y zonas muy bajas y áridas donde se registran temperaturas de 35 °C a 37 °C como Zacapa y Chiquimula. Las temperaturas medias a nivel del mar son de 27 °C en el Océano Pacífico, y 28 O 29 °C en la Bahía de Amatique.²⁴

3.3. Humedad atmosférica

La humedad es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, es mayor en los lugares cercanos a fuentes de agua por ejemplo en ríos, lagos y el mar. Causada por la evaporación de las masas de agua producto del calentamiento generado por la radiación solar y la evapotranspiración vegetal, este valor varía de acuerdo al tiempo y lugar y, junto con la temperatura, es fundamental para determinar el clima de un sitio.

²⁴ SAGASTUME, Wendy. *Influencia de los factores climáticos en el diseño para la vivienda urbana ubicada en climas extremos*. p. 9-10.

3.3.1. Humedad relativa

Es la relación entre la masa del vapor de agua contenido en una unidad de volumen del aire y la del vapor de agua necesario para saturar este volumen, a la misma temperatura. Se expresa en porcentajes. Si el aire no está saturado, la humedad relativa es aproximadamente igual a la relación entre la tensión real de vapor de agua en el aire y la tensión saturada del vapor a la misma temperatura. Si el aire está saturado, la tensión del vapor será la máxima admisible y será constante para cada temperatura dada, denominándose tensión máxima o tensión saturada de vapor a la presión parcial que ejerce en un ambiente de aire saturado.²⁵

3.4. Viento

“Es el movimiento del aire generado como consecuencia de la búsqueda del equilibrio de las presiones. Es un fenómeno de convección en el cual el aire, que es calentado por el suelo que previamente ha recibido radiación solar, se mueve de las zonas de altas presiones a las de bajas produciendo el viento.”²⁶

Es importante estudiar el comportamiento e intensidad del viento según la región donde se proyecta construir, debido a que este afecta las construcciones directamente dependiendo de la forma y altura de las mismas. Es por ello que antes de iniciar un proyecto se realizan informes y estudios sobre la acción del viento en dicha región, el viento puede producir vibraciones que afecten a elementos estructurales y decorativos de un edificio y al confort de los habitantes que se encuentran en él.

²⁵ SAGASTUME, Wendy. *Influencia de los factores climáticos en el diseño para la vivienda urbana ubicada en climas extremos*. p. 10.

²⁶ *Ibíd.*

3.5. Precipitación

Es un fenómeno climatológico que surge cuando el movimiento del aire por convección produce elevaciones de aire que forman pequeñas gotas. La precipitación es un elemento del clima que influye en la humedad relativa, vegetación y contaminación, entre otros. Es un parámetro de gran importancia en algunas zonas climáticas debido principalmente a su frecuencia, a la elevada o escasa cantidad de agua que puede caer y a su estado físico.

Representa la cantidad de agua que cae sobre la tierra como lluvia o granizos, sin considerar la neblina y el rocío. La cantidad de precipitaciones de un lugar y tiempo determinado se llama pluviosidad, y se mide en litros por metro cuadrado. Los datos de precipitación ayudan a conocer el comportamiento pluviométrico de la región en estudio. Para conocer las ventajas que podemos aprovechar y de los elementos climáticos a protegerse.

El régimen de lluvias es variado en todo el territorio; en el altiplano se presenta una precipitación media anual de 1 200 a 1 800 mm mientras que en otras zonas relativamente secas como La Fragua en Zacapa, cuyo promedio anual alcanza 400 a 600 mm zonas sumamente húmedas con valores de 4 000 a 4 500 mm y zonas extremas que sobrepasan un promedio de 6 000 mm. En zonas como El Progreso, Zacapa y parte de Chiquimula, hay 45 a 60 días de lluvia anual, mientras que en Alta y Baja Verapaz se registran un promedio de 200 a 210 días al año.²⁷

²⁷ SAGASTUME, Wendy. *Influencia de los factores climáticos en el diseño para la vivienda urbana ubicada en climas extremos*. p. 10.

3.6. Contaminación

Los elementos que componen la atmósfera pueden actuar sobre los materiales, los contaminantes atmosféricos como el óxido de nitrógeno, el carbono o el azufre pueden producir un deterioro más rápido de los elementos constructivos. La industrialización acelerada ha contaminado los recursos naturales con materiales tóxicos y otros contaminantes, la demanda cada vez mayor de materiales y energía ha originado La rápida degradación en los ecosistemas locales, regionales y mundiales.

3.6.1. Fuentes de contaminación atmosférica

Las fuentes emisoras de contaminación atmosférica son básicamente de dos tipos, estáticas y móviles.

3.6.1.1. Estáticas

La producción agrícola, minas y canteras se denominan como fuentes zonales. Fabricación de productos químicos, productos minerales no metálicos, industrias básicas de metales y centrales de generación de energía todas estas son denominadas como fuentes localizadas. Las incineradoras de residuos municipales, aire acondicionado y calefacción de viviendas y edificios, chimeneas entre otras son fuentes municipales.

3.6.1.2. Móviles

Todo vehículo de combustión interna, puede ser terrestre, aéreo o marítimo. También existen fuentes naturales de contaminación por ejemplo los volcanes pueden expulsar ceniza a varios kilómetros a la redonda.

3.7. Vibraciones

La vibración es una oscilación mecánica en torno a una posición de referencia. Es el resultado de fuerzas dinámicas en máquinas o estructuras que tiene partes en movimiento o sometidas a fuerzas variables. Cada parte afectada por la vibración lo hará con distintas frecuencias y amplitudes de onda. La vibración puede causar molestia, fatiga y manifestarse como un fenómeno destructivo.²⁸

Las estructuras como los edificios vibran de acuerdo a sus propiedades dinámicas. Los movimientos vibratorios causados por el tráfico vehicular, sismos o vientos los cuales nunca son estáticos o unidireccionales y cuyas magnitudes son difíciles de predecir, se deben considerar y modelar de tal manera que reproduzcan la situación real. Los patrones de vibración de un edificio son complejos, por lo que se descomponen en modos de vibración más sencillos, que superpuestos conforman la forma final en que vibrará la estructura.

3.7.1. Vibraciones generadas por tráfico vehicular

Los vehículos aplican fuerzas dinámicas directamente al pavimento. Las fuerzas son transmitidas a través del pavimento a la subestructura o a través del subsuelo hacia las estructuras adjuntas. Un vehículo es un sistema dinámico complejo el cual interactúa con el pavimento y el subsuelo o estructura. La magnitud y contenido de frecuencia de las vibraciones inducidas dependen entre otros parámetros de:

- Masa del vehículo
- Aceleración del vehículo
- Comportamiento vibratorio del vehículo
- Características de los neumáticos del vehículo
- Rugosidad del pavimento de la carretera
- Rigidez del pavimento o subestructura
- Propiedades del subsuelo
- Distancia entre la carretera y las estructuras afectadas.²⁹

²⁸ De la PAZ, Verónica. *Vibraciones en edificios*. p. 2.

²⁹ LOPEZ, Nayeli. *Análisis y evaluación de las vibraciones causadas por tráfico y su impacto en zonas de vivienda*. p. 12.

3.7.2. Carga de sismo

El sismo es un temblor en forma de vibraciones causado por un movimiento brusco y repentino en las capas internas de la tierra (corteza y manto). Estos movimientos se producen por el choque de las placas tectónicas, donde la colisión libera energía mientras los componentes de la corteza terrestre se reconstruyen para volver a alcanzar su equilibrio mecánico. Un ejemplo sería como las ondas que genera el agua cuando tiras una piedra en un estanque de agua.

La principal causa que generan los sismos es la deformación de las rocas próximas a una falla activa, la cual libera su energía acumulada y provocan las grandes vibraciones o temblores.

Algunos ejemplos que provocan los sismos son:

- El hundimiento de cavidades
- Los movimientos de laderas
- Los volcanes
- Variaciones de la presión atmosférica.³⁰

Algunas características importantes son: La fuerza en función de la aceleración del terreno, la duración, la intensidad, las frecuencias y la secuencia de choques.

3.7.3. Carga de viento

El viento es un efecto meteorológico y dinámico que influye en las estructuras provocando vibraciones principalmente en las de gran altura. Toda estructura es construida para soportar su peso propio y la presencia de fuerzas externas sin perder las condiciones de funcionalidad para las que fue construida. La carga de viento depende de la ubicación, altura, área expuesta y forma de las estructuras.

³⁰ CASAÚ, José. *Estudio del daño en edificios derivado de las vibraciones mediante simulación numérica usando el método de redes*. p. 27.

La presión que ejerce el viento a la estructura es proporcional al cuadrado de la velocidad y debe ser calculada, principalmente en las superficies expuestas de una estructura. La velocidad del viento es variable y presenta turbulencias debido a la rugosidad de la tierra. Sin embargo, la edificación asume una posición deformada debido a una velocidad constante y que vibra a partir de esta posición debido a la turbulencia.

Cuando el flujo del viento es obstaculizado por los edificios tiene que desviarse para rodearlo y produce presiones sobre el mismo, cuando el viento golpea la cara del edificio se produce un empuje y en la cara opuesta se produce succión.

Los dos efectos se suman dando como resultado una fuerza de arrastre sobre el edificio. En las caras laterales se presenta una distribución de presiones que varía de empuje a succión.

El efecto del viento sobre una estructura depende de:

- La densidad y velocidad del aire
- Del ángulo de incidencia del viento
- De la forma y rigidez de la estructura
- De la rugosidad de la superficie
- De la carga de viento (w).³¹

³¹ CASAÚ, José. *Estudio del daño en edificios derivado de las vibraciones mediante simulación numérica usando el método de redes*. p. 22-23.

4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1. Materiales y equipo

A continuación, se describen los materiales y el equipo necesarios para realizar los ensayos propuestos en este trabajo.

4.1.1. Materiales

- Cemento
- Arena
- Agua potable
- Mortero premezclado
- Fachaletas de arcilla roja
- Pegamento epoxico

Figura 18. **Cemento, arena y agua potable**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras

Figura 19. **Fachaletas de arcilla roja**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 20. **Pegamento epoxico**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

4.1.2. Equipo

- Balanza electrónica
- Bandeja a prueba de fugas de agua
- Cable de acero
- Contrapeso (cubos de concreto)
- Dinamómetro
- Horno
- Malla de protección
- Marco metálico
- Mica de 2 Ton
- Placas de acero de 5 cm x 5 cm con argolla al reverso
- Polea

Figura 21. **Balanza electrónica**



Fuente: Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 22. **Bandeja a prueba de fugas de agua**



Fuente: CII, USUAC. Sección de Estructuras.

Figura 23. **Contrapesos de concreto**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 24. **Dinamómetro**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 25. **Horno**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 26. **Marco metálico y malla de protección**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 27. **Mica**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 28. **Placa de acero con argolla**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

Figura 29. **Polea y cable de acero**



Fuente: CII, USAC. Sección de Estructuras.

4.2. Características físicas de las fachaletas en estudio

Durante el desarrollo de investigación se utilizaron fachaletas fabricadas de arcilla roja, se describen sus principales características físicas.

Figura 30. **Muestra 1**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Tabla I. **Datos de muestra 1**

Área (cm ²)	104,04
Masa promedio (g)	153,00
Espesor (mm)	7,55
Volumen (cm ³)	78,55
Densidad (g/cm ³)	1,95

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Muestra 2**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras, CII, USAC.

Tabla II. **Datos de muestra 2**

Área (cm ²)	150,55
Masa promedio (g)	257,00
Espesor (mm)	6,89
Volumen (cm ³)	105,51
Densidad (g/cm ³)	2,44

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Muestra 3**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Tabla III. **Datos de muestra 3**

Área (cm ²)	268,10
Masa promedio (g)	458,00
Espesor (mm)	7,70
Volumen (cm ³)	206,43
Densidad (g/cm ³)	2,22

Fuente: elaboración propia.

4.3. Morteros en estudio

Se utilizaron dos morteros premezclados tipo S, diseñados conforme norma ASTM C-270 (marcas comerciales de uso en Guatemala). También se implementaron dos morteros fabricados *in situ* de proporciones 1:2 y 1:3 respectivamente cemento-arena, de uso general en la construcción (marca comercial de uso en Guatemala).

Tabla IV. **Morteros utilizados para el ensayo de adherencia**

Mortero	Descripción
1	Premezclado tipo S, diseñado conforme norma ASTM C-270
2	Premezclado tipo S, diseñado conforme norma ASTM C-270
3	Proporción 1:2 respectivamente cemento-arena, fabricado <i>in situ</i>
4	Proporción 1:3 respectivamente cemento-arena, fabricado <i>in situ</i>

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Elaboración del mortero *in situ*

Se realizaron dos morteros fabricados *in situ* de proporciones 1:2 y 1:3 respectivamente cemento-arena, se describe el procedimiento para fabricarlos.

- Cernir los materiales usando tamiz 1/8"

Figura 33. Cernido de materiales



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Medir los materiales en las proporciones adecuadas

Figura 34. **Cemento y arena**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Mezclar adecuadamente el cemento y la arena

Figura 35. **Mezcla de cemento y arena**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Aplicar agua uniformemente hasta obtener una mezcla con densidad apropiada para adherencia.

Figura 36. **Mezcla de cemento, arena y agua**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Figura 37. **Mortero**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

4.3.2. Colocación de las fachaletas

La colocación de las fachaletas la debe llevar a cabo un albañil de mano de obra calificada y con experiencia, este es un factor importante para la permanencia del sistema (fachaleta-mortero-superficie) en el transcurso del tiempo. A continuación se describe el procedimiento para colocar fachaletas.

- Limpiar y humedecer la superficie donde se instalara el elemento cerámico.

Figura 38. Limpieza y humectación de superficie



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Humedecer el elemento cerámico.

Figura 39. **Humectación de fachaleta**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Aplicar mortero y distribuirlo proporcionalmente sobre el elemento cerámico.

Figura 40. **Distribución de mortero sobre la fachaleta**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Colocar la fachaleta y golpear levemente con martillo de goma para eliminar vacíos.

Figura 41. **Instalación de fachaleta**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

- Nivelar en ambos ejes la fachaleta.

Figura 42. **Fachaleta instalada**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

4.4. Tipos de superficies en estudio

Con el fin de lograr resultados concretos de adherencia se colocaron las fachaletas en distintos acabados de superficie, para conocer el comportamiento general de los morteros en estudio.

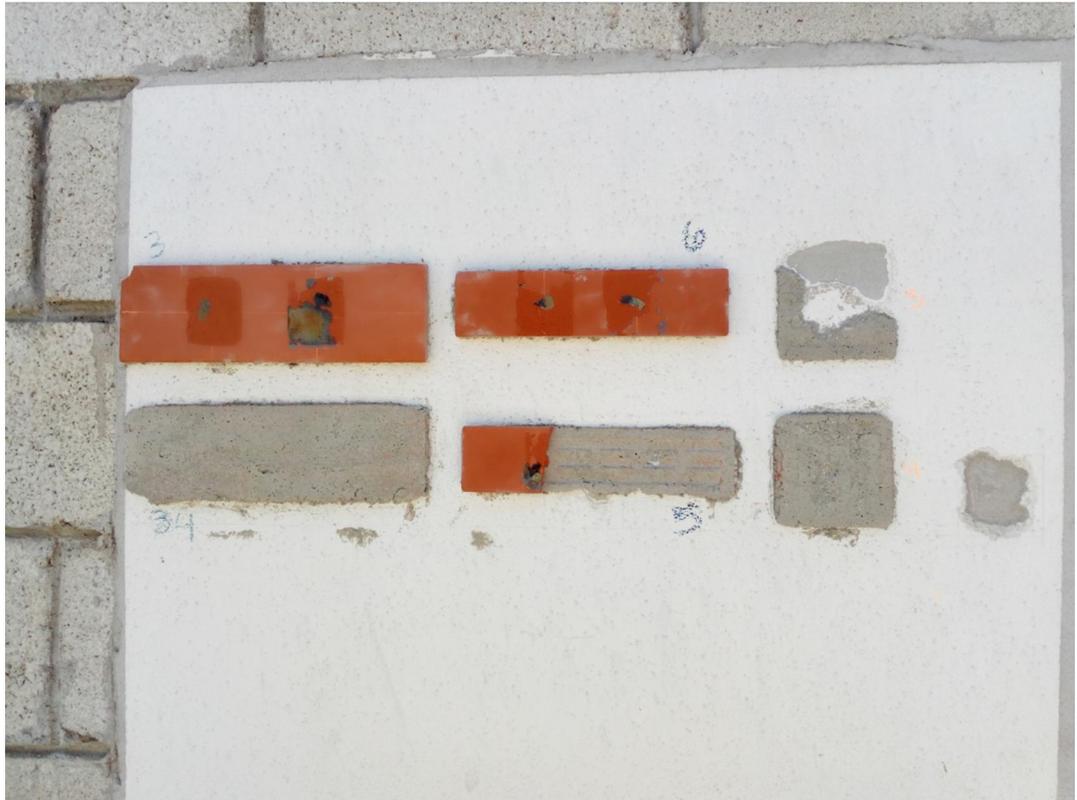
Tabla V. **Superficies utilizadas para el ensayo de adherencia**

Superficie	Descripción
1	Cernido remolineado
2	Repello liso
3	Blanqueado liso
4	Repello rustico
5	Concreto liso
6	Repello con humedad
7	Lechada de cemento y arena
8	Cernido vertical
9	Block natural
10	Repello rugoso

Fuente: elaboración propia.

- Superficie 1: cernido fabricado con cemento, cal y arena blanca. Frecuentemente se utiliza proporción (1/8: 2: 1), cemento, cal y arena blanca respectivamente. Es necesario pasar la arena blanca por tamiz de 1/8", para el acabado rustico se utiliza plancha de madera y esponja, su nombre coloquial es cernido remolineado.

Figura 43. **Superficie 1, cernido remolineado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 2: repello fabricado con cemento y arena de río. Frecuentemente se utiliza proporción (1: 1), cemento y arena de río respectivamente. Es útil para impermeabilizar superficies, para el acabado rustico se utiliza plancha de madera, su nombre coloquial es repello liso.

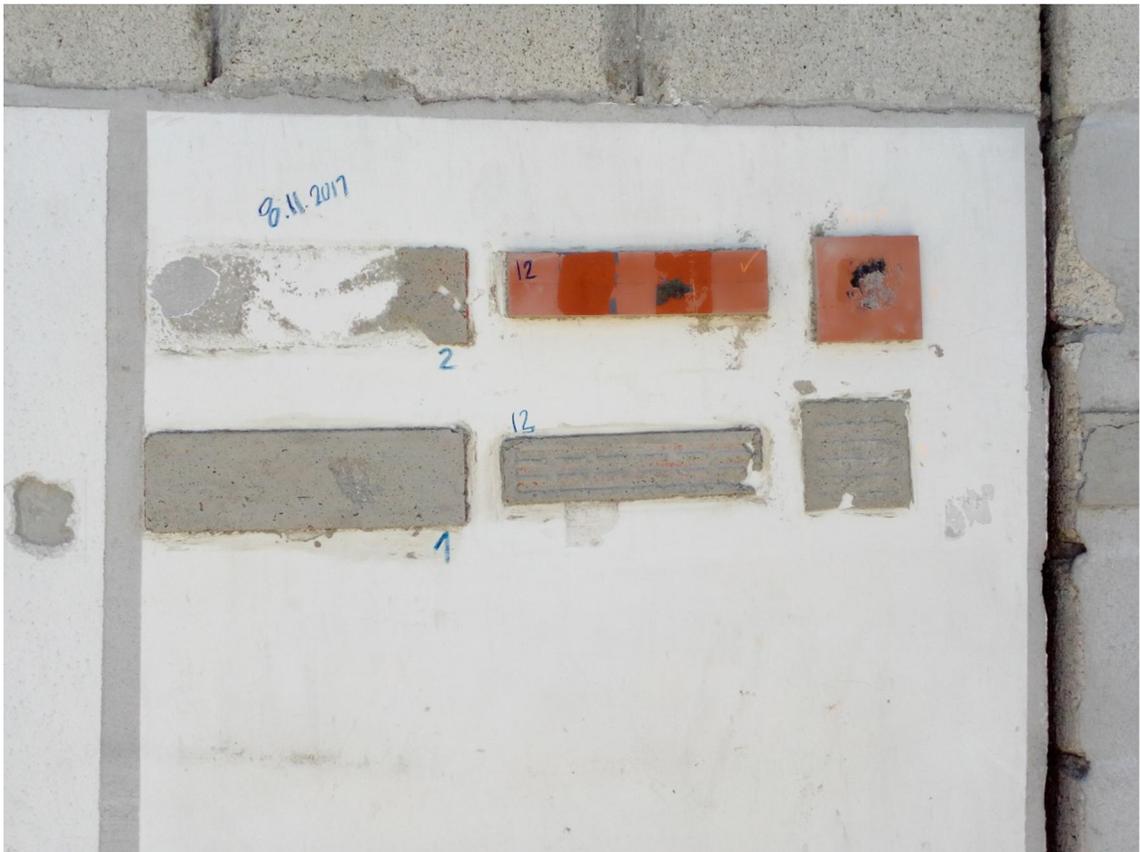
Figura 44. **Superficie 2, repello liso**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 3: cernido fabricado con cemento, cal y arena blanca. Se utiliza proporción (1/8: 2: 1), cemento, cal y arena blanca respectivamente. Es necesario pasar la arena blanca por tamiz de 1/8", para el acabado liso se utiliza plancha de metal, su nombre coloquial es blanqueado liso.

Figura 45. **Superficie 3, blanqueado liso**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 4: repello fabricado con cemento y arena de río. Frecuentemente se utiliza proporción (1: 1), cemento y arena de río respectivamente. Es útil para impermeabilizar superficies, para el acabado rustico se utiliza plancha de madera, su nombre coloquial es repello rustico.

Figura 46. **Superficie 4, repello rustico**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 5: El concreto es fabricado con cemento, arena de río, grava (piedrín) y agua potable. Su acabado depende del molde o formaleta, Frecuentemente se utiliza madera para formaleta dejando un terminado poco rugoso.

Figura 47. **Superficie 5, concreto liso**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 6: la humedad se presenta en lugares con poca o ninguna radiación solar, escasa circulación de viento y donde existen filtraciones de agua. Se evitan estas condiciones porque son perjudiciales para los acabados.

Figura 48. **Superficie 6, repello en condiciones de humedad**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 7: repello fabricado con cemento, cal y arena amarilla. Frecuentemente se utiliza proporción (1/4: 1: 3), cemento, cal y arena amarilla respectivamente, su nombre coloquial es lechada de cemento y arena.

Figura 49. **Superficie 7, lechada de cemento y arena**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 8: cernido fabricado con arena blanca, cal y cemento, se utiliza la proporción (1/8: 1: 2), cemento, cal y arena blanca respectivamente. Es necesario pasar la arena blanca por tamiz de 1/8", su nombre coloquial es cernido vertical.

Figura 50. **Superficie 8, cernido vertical**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 9: el block es fabricado con arena, cemento, y piedra pómez, se utiliza frecuentemente en diferentes obras civiles. Los hay de diferentes dimensiones y según norma pueden ser de clase A, B y C (35 kg/cm^2 , 50 kg/cm^2 , 70 kg/cm^2), respectivamente.

Figura 51. **Superficie 9, block natural**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

- Superficie 10: repello rugoso fabricado con cemento y arena de río. Frecuentemente se utiliza proporción (1: 1), cemento y arena de río respectivamente. Para el acabado rustico se lanza la mezcla contra la superficie, su nombre coloquial es savieta.

Figura 52. **Superficie 10, repello rugoso**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

4.5. Tipos de ensayos realizados

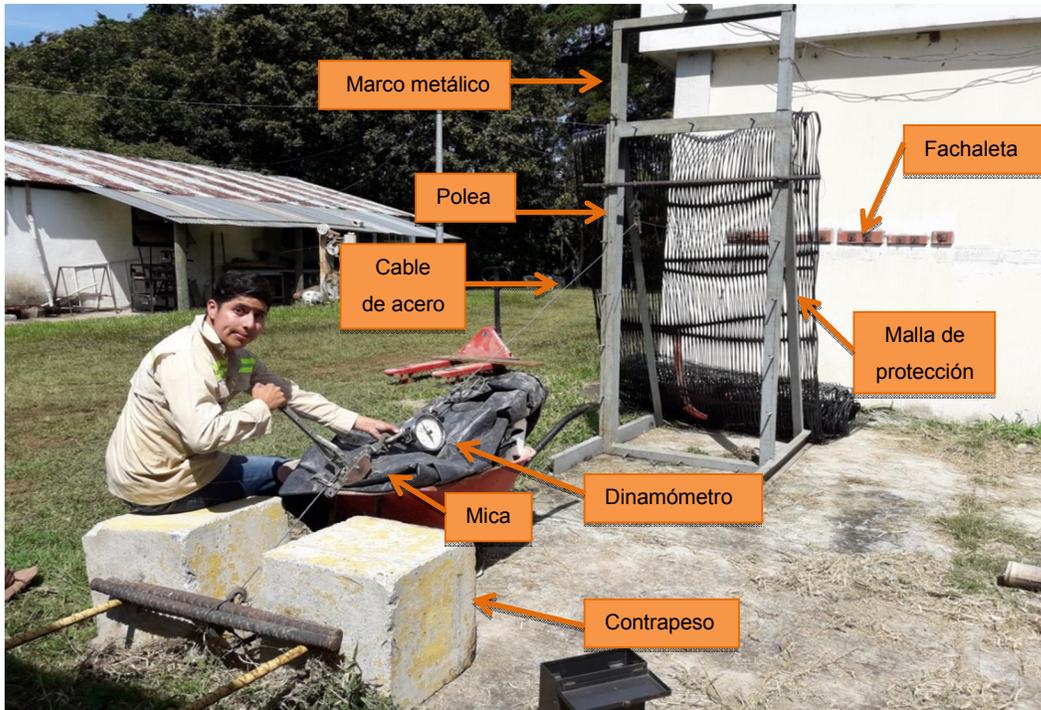
En el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala en la Sección de Estructuras se llevaron a cabo los ensayos para evaluar el sistema (fachaleta-mortero-superficie). Se realizaron ensayos con esfuerzos de tracción al sistema, también ensayos de absorción y succión de agua a las fachaletas en estudio, con el fin de evitar el desprendimiento prematuro del sistema.

4.5.1. Ensayo adherencia inicial de fraguado rápido del mortero, Norma Coguanor NTG 41101 h1

La adherencia inicial de fraguado rápido se determinó por medio de la resistencia a la tracción a las 24 horas después de haber aplicado el mortero en estudio.

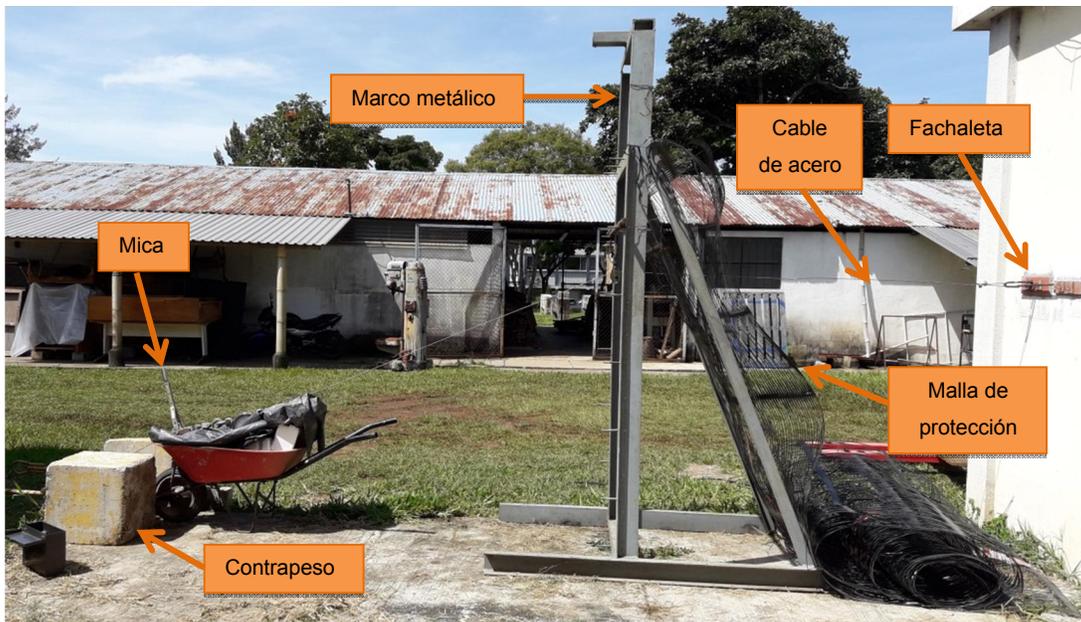
Utilizando una platina con argolla donde se sujeta el cable y en el extremo opuesto se coloca un dinamómetro para medir la fuerza de tensión aplicada en este caso (libras). El dinamómetro en el otro extremo se sujeta a una mica para ir dando incrementos de carga en forma proporcional. Para el proceso de ensayo se verifica que la acción de tensión hacia la platina debe ser horizontal y perpendicular a la superficie de la fachaleta, hasta el punto de rotura o falla. Se da una descripción del tipo de falla, se obtiene la carga a la que se daña el material, luego se calcula el área de contacto en centímetros cuadrados para obtener el esfuerzo en kilogramos sobre centímetros cuadrados.

Figura 53. **Ensayo de adherencia del mortero**



Fuente: elaboración propia, en Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 54. **Sistema del ensayo de adherencia**



Fuente: elaboración propia, en Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 55. **Aplicación de carga perpendicular a la fachaleta y lectura del dinamómetro durante el ensayo de adherencia**



Fuente: elaboración propia, en Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Figura 56. **Ubicación y preparación del equipo para el ensayo de adherencia**



Fuente: elaboración propia, en Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

4.5.1.1. Determinación del tipo de rotura o falla

Los tipos de rotura o falla pueden ser: Rotura o falla Adhesiva, Rotura o falla Cohesiva en el interior del adhesivo y Rotura o falla cohesiva en el soporte o en el elemento cerámico.

- Rotura o falla adhesiva: Se produce en la interfaz entre el adhesivo y el soporte o entre el elemento cerámico y el adhesivo. El valor del ensayo es igual a la capacidad de adhesión. Cuando la rotura se presente en la capa de adhesivo entre el elemento cerámico y el cabezal de tracción de la máquina, la adherencia del adhesivo en estudio es superior al valor del ensayo.
- Rotura o falla cohesiva en el interior del adhesivo: Se produce en el interior de la capa adhesiva. El valor de la adherencia será el indicado en la máquina o equipo de ensayo.
- Rotura o falla cohesiva en el soporte o en el piso cerámico: Se produce en el soporte o en el piso cerámico, en este caso la capacidad de adherencia es mayor que el valor del ensayo.³²

³² Norma Coguanor NTG 41101 h1, *Métodos de ensayo para el cumplimiento de las especificaciones de adhesivos premezclados en seco a base de cemento hidráulico para piezas cocidas, sin cocer y piedras naturales.* p. 11.

Tabla VI. Descripción del tipo de falla para el ensayo de adherencia

Falla	Descripción
A	Falla adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte
B	Falla adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta
C	Falla cohesiva en el interior del adhesivo
D	Falla cohesiva en el soporte
E	Falla cohesiva en la fachaleta

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el elemento cerámico, mortero 1 (falla B)



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Figura 58. **Falla cohesiva en el elemento ceramico, mortero 2 (falla E)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras, CII, USAC.

Figura 59. **Falla cohesiva en el soporte, mortero 1 (falla D)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Figura 60. **Falla cohesiva en el soporte, mortero 2 (falla D)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Figura 61. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 2 (falla A)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras. CII, USAC.

Figura 62. **Falla adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte, mortero 1 (falla A)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 63. **Falla cohesiva en el soporte, mortero 4 (falla D)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 64. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 3 (falla A)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 65. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 4 (falla A)**



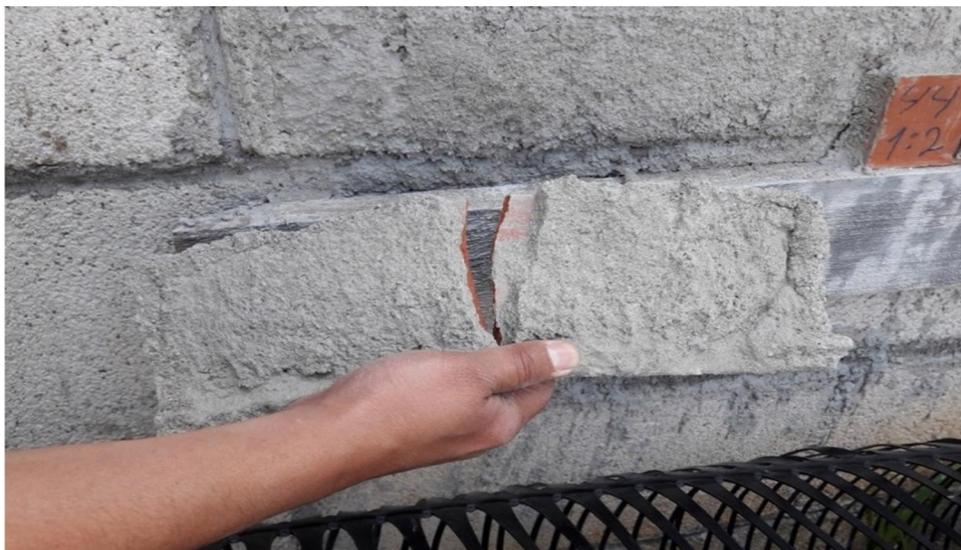
Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 66. **Falla cohesiva en el elemento cerámico, mortero 4 (falla E)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 67. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y el soporte, mortero 3 (falla A)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 68. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y la fachaleta, mortero 3 (falla B)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 69. **Falla adhesiva entre la interfaz del adhesivo y la fachaleta, mortero 4 (falla B)**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

4.5.1.2. Datos obtenidos del ensayo a tensión para los diferentes morteros

Cálculo del factor que relaciona el área de la fachaleta con el área de la platina de acero.

$$\text{Factor} = \left(\frac{A_f/A_p}{\sum (A_f/A_p)} \right) + 1$$

Donde:

Factor = relación area de platina con area de fachaleta

A_f = area de fachaleta (cm^2)

A_p = area de platina (cm^2)

$$\text{Factor} = \left(\frac{268,09 \text{ cm}^2 / 50 \text{ cm}^2}{\sum(12,53)} \right) + 1 = 1,43$$

Tabla VII. Factor para relacionar área de fachaleta con área de platina

Área fachaleta (cm ²)	Área platina (cm ²)	A _{fachaleta} /A _{platina}	Factor
268,09	50	5,36	1,43
150,55	50	3,01	1,24
104,04	25	4,16	1,33
		$\Sigma = 12,53$	

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del esfuerzo último a tensión en fachaletas de barro cocido.

$$Ra = (F/A) * \text{factor}$$

Donde:

Ra = resistencia a la adherencia (kg/cm²)

F = fuerza de tracción que da el aparato (kg)

A = area del elemento ceramico (cm²)

$$Ra = \left(\frac{175 \text{ lb} \left(\frac{2,2 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} \right)}{268,09 \text{ cm}^2} \right) * 1,43 = 0,42 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla VIII. Datos de ensayo a tensión en mortero 1

Carga (Lb)	Carga (Kg)	Área fachaleta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Factor	Esfuerzo* factor (kg/cm ²)	Superficie	Tipo de falla
175	79,55	268,10	0,30	1,43	0,42	1	B
275	125	268,10	0,47	1,43	0,67	2	B
500	227,27	268,10	0,85	1,43	1,21	3	B
400	181,82	268,10	0,68	1,43	0,97	4	B
110	50	268,10	0,19	1,43	0,27	5	A
475	215,91	268,10	0,81	1,43	1,15	6	A
490	222,73	268,10	0,83	1,43	1,19	7	D
210	95,45	268,10	0,36	1,43	0,51	8	A
325	147,73	268,10	0,55	1,43	0,79	9	B
75	34,09	150,55	0,23	1,24	0,28	1	B
390	177,27	150,55	1,18	1,24	1,46	2	B
400	181,82	150,55	1,21	1,24	1,50	3	B
375	170,45	150,55	1,13	1,24	1,40	4	B
225	102,27	150,55	0,68	1,24	0,84	5	A
80	36,36	150,55	0,24	1,24	0,30	6	A
220	100	150,55	0,66	1,24	0,82	7	D
225	102,27	150,55	0,68	1,24	0,84	7	A
100	45,45	150,55	0,30	1,24	0,37	8	A
425	193,18	150,55	1,28	1,24	1,59	9	A
325	147,73	150,55	0,98	1,24	1,22	9	A
325	147,73	104,04	1,42	1,33	1,89	1	B
450	204,55	104,04	1,97	1,33	2,61	2	B
200	90,91	104,04	0,87	1,33	1,16	3	B
230	104,55	104,04	1,00	1,33	1,34	4	B
10	4,55	104,04	0,04	1,33	0,06	5	A
140	63,64	104,04	0,61	1,33	0,81	6	A
200	90,91	104,04	0,87	1,33	1,16	7	D
100	45,45	104,04	0,44	1,33	0,58	8	A
180	81,82	104,04	0,79	1,33	1,05	9	A

Fuente: ensayo realizado en Sección de Estructuras CII, USAC.

Tabla IX. Datos de ensayo a tensión en mortero 2

Carga (Lb)	Carga (Kg)	Área fachaleta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Factor	Esfuerzo *factor (kg/cm ²)	Superficie	Tipo de falla
550	250	268,10	0,93	1,43	1,33	1	E
550	250	268,10	0,93	1,43	1,33	2	A
250	113,64	268,10	0,42	1,43	0,61	3	A
850	386,36	268,10	1,44	1,43	2,06	4	A
275	125	268,10	0,47	1,43	0,67	5	A
580	263,64	268,10	0,98	1,43	1,41	7	D
465	211,36	268,10	0,79	1,43	1,13	8	A
660	300	268,10	1,12	1,43	1,60	9	A
625	284,09	150,55	1,89	1,24	2,34	1	E
210	95,45	150,55	0,63	1,24	0,79	2	A
645	293,18	150,55	1,95	1,24	2,41	3	E
540	245,45	150,55	1,63	1,24	2,02	4	A
298	135,45	150,55	0,90	1,24	1,12	5	A
320	145,45	150,55	0,97	1,24	1,20	6	A
155	70,45	150,55	0,47	1,24	0,58	7	A
150	68,18	150,55	0,45	1,24	0,56	7	A
275	125	150,55	0,83	1,24	1,03	8	A
500	227,27	150,55	1,51	1,24	1,87	8	A
225	102,27	150,55	0,68	1,24	0,84	7	D
150	68,18	150,55	0,45	1,24	0,56	9	A
325	147,73	104,04	1,42	1,33	1,89	1	E
350	159,09	104,04	1,53	1,33	2,03	2	A
200	90,91	104,04	0,87	1,33	1,16	3	A
300	136,36	104,04	1,31	1,33	1,74	4	A
275	125	104,04	1,20	1,33	1,60	5	E
450	204,55	104,04	1,97	1,33	2,61	5	A
60	27,27	104,04	0,26	1,33	0,35	5	A
250	113,64	104,04	1,09	1,33	1,45	6	A
100	45,45	104,04	0,44	1,33	0,58	7	D
215	97,73	104,04	0,94	1,33	1,25	8	A
325	147,73	104,04	1,42	1,33	1,89	9	E
450	204,55	104,04	1,97	1,33	2,61	2	E
298	135,45	104,04	1,30	1,33	1,73	5	A

Fuente: ensayo realizado en Sección de Estructuras CII, USAC.

Tabla X. Datos de ensayo a tensión en mortero 3

Carga (Lb)	Carga (Kg)	Área fachaleta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Factor	Esfuerzo *factor (kg/cm ²)	Superficie	Tipo de falla
300	136,36	268,10	0,51	1,43	0,73	7	B
260	118,18	268,10	0,44	1,43	0,63	8	B
240	109,09	268,10	0,41	1,43	0,58	9	B
230	104,55	268,10	0,39	1,43	0,56	1	B
50	22,73	268,10	0,08	1,43	0,12	3	B
210	95,45	268,10	0,36	1,43	0,51	2	B
135	61,36	268,10	0,23	1,43	0,33	4	B
55	25	268,10	0,32	1,43	0,13	10	A
65	29,55	268,10	0,30	1,43	0,16	10	A
475	215,91	150,55	1,43	1,24	1,78	9	B
310	140,91	150,55	0,94	1,24	1,16	8	A
215	97,73	150,55	0,65	1,24	0,93	7	D
210	95,45	150,55	0,63	1,24	0,79	7	B
370	168,18	150,55	1,12	1,24	1,39	8	A
130	59,09	150,55	0,39	1,24	0,49	9	B
140	63,64	150,55	0,42	1,24	0,52	1	B
70	31,82	150,55	0,21	1,24	0,26	3	B
165	75	150,55	0,50	1,24	0,62	2	B
100	45,45	150,55	0,30	1,24	0,37	4	B
35	15,91	150,55	0,11	1,24	0,13	10	A
90	40,91	150,55	0,27	1,24	0,34	10	A
75	34,09	104,04	0,33	1,33	0,44	7	B
220	100	104,04	0,96	1,33	1,28	8	B
175	79,55	104,04	0,76	1,33	1,02	9	B
165	75	104,04	0,72	1,33	0,96	1	B
20	9,09	104,04	0,09	1,33	0,12	3	B
125	56,82	104,04	0,55	1,33	0,73	2	B
100	45,45	104,04	0,44	1,33	0,58	4	B
85	38,64	104,04	0,37	1,33	0,49	10	B
110	50	104,04	0,48	1,33	0,64	10	B

Fuente: ensayo realizado en Sección de Estructuras CII, USAC.

Tabla XI. Datos de ensayo a tensión en mortero 4

Carga (Lb)	Carga (Kg)	Área fachaleta (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Factor	Esfuerzo* factor (kg/cm ²)	Superficie	Tipo de falla
590	268,18	268,10	1,00	1,43	1,43	7	B
360	163,64	268,10	0,61	1,43	0,87	8	B
220	100	268,10	0,37	1,43	0,53	9	B
180	81,82	268,10	0,31	1,43	0,44	1	B
200	90,91	268,10	0,34	1,43	0,48	3	B
150	68,18	268,10	0,25	1,43	0,36	2	B
150	68,18	268,10	0,25	1,43	0,36	4	B
140	63,64	268,10	0,24	1,43	0,34	3	B
80	36,36	268,10	0,14	1,43	0,19	10	A
200	90,91	150,55	0,60	1,24	0,75	8	A
120	54,55	150,55	0,36	1,24	0,45	7	D
240	109,09	150,55	0,72	1,24	0,90	7	B
230	104,55	150,55	0,69	1,24	0,86	8	A
30	13,64	150,55	0,09	1,24	0,11	9	A
150	68,18	150,55	0,45	1,24	0,56	9	B
160	72,73	150,55	0,48	1,24	0,60	1	B
124	56,36	150,55	0,37	1,24	0,46	3	B
75	34,09	150,55	0,23	1,24	0,28	2	B
95	43,18	150,55	0,29	1,24	0,36	4	B
105	47,73	150,55	0,32	1,24	0,39	10	B
410	186,36	104,04	1,79	1,33	2,38	9	E
220	100	104,04	0,96	1,33	1,28	7	D
140	63,64	104,04	0,61	1,33	0,81	8	B
165	75	104,04	0,72	1,33	0,96	9	B
100	45,45	104,04	0,44	1,33	0,58	1	B
185	84,09	104,04	0,81	1,33	1,07	3	E
75	34,09	104,04	0,33	1,33	0,44	2	B
150	68,18	104,04	0,66	1,33	0,87	4	B
50	22,73	104,04	0,22	1,33	0,29	3	B
70	31,82	104,04	0,31	1,33	0,41	10	B

Fuente: ensayo realizado en Sección de Estructuras CII, USAC.

Tabla XII. **Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 1**

Área fachaleta (cm²)	Esfuerzo promedio (kg/cm²)
268,10	0,80
150,55	0,97
104,04	1,18

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 2**

Área fachaleta (cm²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm²)
268,10	1,27
150,55	1,32
104,04	1,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 3**

Área fachaleta (cm²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm²)
268,10	0,42
150,55	0,73
104,04	0,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Resultados del promedio de ensayo a tensión, mortero 4**

Área fachaleta (cm²)	Esfuerzo promedio (Kg/cm²)
268,10	0,56
150,55	0,52
104,04	0,91

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Ensayo de absorción de agua, Norma Coguanor NGO 41024 h4

El método consiste en secar 5 elementos cerámicos a una temperatura entre 110 y 115 °C durante no menos de 24 horas, después de secadas las muestras se enfrían en un cuarto libre de corrientes de aire mantenido a una temperatura entre 16 y 32 °C con humedad relativa entre 30 y 70 % durante un periodo no menor de 4 horas hasta que no se sientan calientes al tacto, durante el enfriamiento las muestras no deben estar apiladas, se pesan y se anotan los datos de cada muestra en estudio.

A continuación, se sumerge en agua potable a una temperatura entre 15,5 y 30 °C durante 24 horas. La muestra se retira del agua, se elimina el exceso de agua de la superficie con un trapo húmedo y se pesa, la operación de pesado de cada muestra se debe realizar a más tardar 5 minutos después de removerlo del agua.

Figura 70. **Secado de elementos cerámicos**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 71. **Peso de elementos cerámicos secos**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 72. **Elementos cerámicos en proceso de absorción de agua**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Cálculo de la absorción de agua en muestras de barro cocido

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \times 100$$

Donde:

m_s = masa de la muestra completamente seca (kg)

m_h = masa de la muestra húmeda (kg)

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = \left(\frac{0,296 \text{ kg} - 0,267 \text{ kg}}{0,267 \text{ kg}} \right) \times 100$$

$$\text{Absorción, en porcentaje (m/m)} = 10,86\%$$

Tabla XVI. **Resultados de absorción de agua, para las fachaletas**

Fachaleta	Peso seco (Kg)	Peso húmedo (Kg)	Absorción (%)
1ª	0,267	0,296	10,86
2ª	0,258	0,288	11,63
3ª	0,256	0,283	10,55
4ª	0,260	0,289	11,15
5ª	0,262	0,291	11,07

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultado del promedio de absorción de agua, para las fachaletas**

Promedio de muestras (%)
11,05

Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Ensayo de razón inicial de absorción (succión), Norma Coguanor NGO 41024 h5

El método consiste en secar 5 elementos cerámicos entre 110 y 115 °C durante no menos de 24 horas. Después de secadas las muestras se enfrían en un cuarto libre de corrientes de aire mantenido a una temperatura entre 16 y 32 °C, con humedad relativa entre 30 y 70 % durante un periodo no menor de 4 horas hasta que no se sientan calientes al tacto, durante el periodo de enfriamiento las muestras no deben estar apiladas, se pesa y se anota ese dato.

Se coloca la muestra de ensayo en posición sobre los soportes sumergiendo en agua una porción del elemento, se activa el cronometro en el momento que la muestra hace contacto con el agua, se deja la muestra durante 60 segundos, se retira del agua, se elimina el exceso de agua de la superficie de la muestra con un trapo húmedo y se pesa la muestra, la operación de pesado de cada muestra debe estar completa en no más de 2 minutos desde el momento en que la muestra se retira del agua.

Figura 73. **Secado de elementos cerámicos**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Figura 74. **Succión de agua en elemento cerámico**



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Cálculo de la razón inicial de absorción (succión) en muestras de barro cocido.

$$R = \left(\frac{m_f - m_i}{At} \right)$$

Donde:

R = razón inicial de absorción (g/cm²min)

m_f = masa final de la muestra (g)

m_i = masa inicial de la muestra (g)

A = área de la muestra (cm²)

t = 1 minuto

$$R = \left(\frac{292 \text{ gr} - 267 \text{ gr}}{(144,55 \text{ cm}^2)(1\text{min})} \right)$$

$$R = 0,173 \text{ gr}/\text{cm}^2 * \text{min}$$

Tabla XVIII. **Resultados de succión de agua, para las fachaletas**

Fachaleta	Ancho (cm)	Largo (cm)	Peso seco (gr)	Peso húmedo (gr)	Área (cm²)	Succión gr/cm²-min
1S	5,90	24,50	267	292	144,55	0,173
2S	5,90	24,40	235	256	143,96	0,146
3S	5,90	24,50	245	271	144,55	0,180
4S	6	24,40	245	270	146,40	0,171
5S	5,9	24,40	229	255	143,96	0,181

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultado del promedio de succión de agua, para las fachaletas**

Promedio de muestras (gr/cm²-min)
0,170

Fuente: elaboración propia.

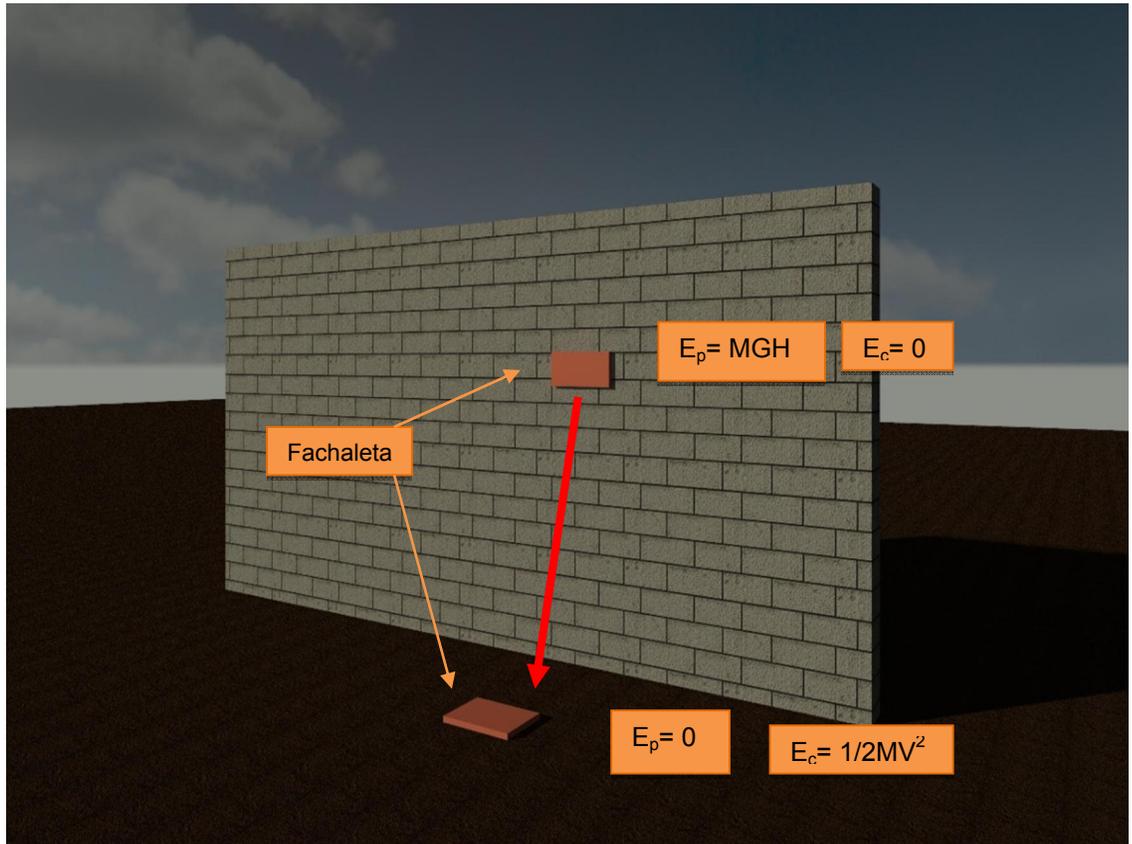
4.6. Determinación de la energía de impacto para las fachaletas

La suma de las energías cinética y potencial del sistema tierra-fachaleta, es constante durante el movimiento del sistema debido a la ley de conservación de la energía. Cuando la fachaleta se desprende del lugar de instalación la energía potencial gravitacional disminuye y aumenta la energía cinética de la fachaleta que cae. La energía potencial está asociada a la posición de un sistema, no a su movimiento, hay energía potencial gravitacional incluso cuando el elemento cerámico está fijo en el lugar de colocación. Al caer la fachaleta no se agrega energía al sistema Tierra-fachaleta, sino que una reserva de energía se transforma de una forma (energía potencial) a otra (energía cinética). En un proceso dado, la energía cinética y potencial de un sistema pueden cambiar; pero la suma de todos los cambios siempre es cero. Una disminución en una forma de energía se compensa con un aumento en la otra.

Los objetos en caída libre están bajo la influencia de la atracción gravitacional de la tierra, es un movimiento con aceleración (casi) constante. El valor de la gravedad varía hasta en el tercer decimal entre Totonicapán a 2 505 msnm y Escuintla a 347 msnm, por esa razón se asume la gravedad constante.

La energía cinética final de una fachaleta también será la energía de impacto, dependerá de la altura a la cual se encuentre inicialmente dicho elemento cerámico.

Figura 75. Conservación de la energía potencial y cinética para las fachaletas



Fuente: elaboración propia, empleando Revit.

Cálculo de la velocidad final del elemento cerámico en estudio

$$V_f = \sqrt{2GH}$$

Donde:

V_f = velocidad final (m/s)

G = gravedad (m/s^2)

H = altura (m)

$$V_f = \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 3 m} = 7,67 m/s$$

Tabla XX. **Datos de velocidad final teórica para fachaletas**

Gravedad (m/s^2)	Altura (m)	Velocidad (m/s)
9,81	3	7,67
9,81	6	10,85
9,81	9	13,29
9,81	12	15,34
9,81	15	17,16
9,81	18	18,79
9,81	21	20,30

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de la energía cinética o energía de impacto del elemento cerámico en estudio.

$$E_c = \frac{1}{2}MV_f^2$$

Donde:

E_c = energía cinética (Joules)

M = masa de la muestra (kg)

V_f = velocidad final (m/s)

$$K = \frac{1}{2} * 0,153 \text{ kg} * \left(7,67 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 4,50 \text{ J}$$

Tabla XXI. **Datos de energía cinética teórica para fachaleta 1**

Altura (m)	Masa (kg)	Velocidad final (m/s)	Energía Cinética (Joules)
3	0,153	7,67	4,50
6	0,153	10,85	9,01
9	0,153	13,29	13,51
12	0,153	15,34	18,01
15	0,153	17,16	22,51
18	0,153	18,79	27,02
21	0,153	20,30	31,52

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Datos de energía cinética teórica para fachaleta 2**

Altura (m)	Masa (kg)	Velocidad final (m/s)	Energía Cinética (Joules)
3	0,257	7,67	7,56
6	0,257	10,85	15,13
9	0,257	13,29	22,70
12	0,257	15,34	30,25
15	0,257	17,16	37,84
18	0,257	18,79	45,37
21	0,257	20,30	52,95

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Datos de energía cinética teórica para fachaleta 3**

Altura (m)	Masa (kg)	Velocidad final (m/s)	Energía Cinética (Joules)
3	0,458	7,67	13,47
6	0,458	10,85	26,96
9	0,458	13,29	40,45
12	0,458	15,34	53,90
15	0,458	17,16	67,43
18	0,458	18,79	80,85
21	0,458	20,30	94,37

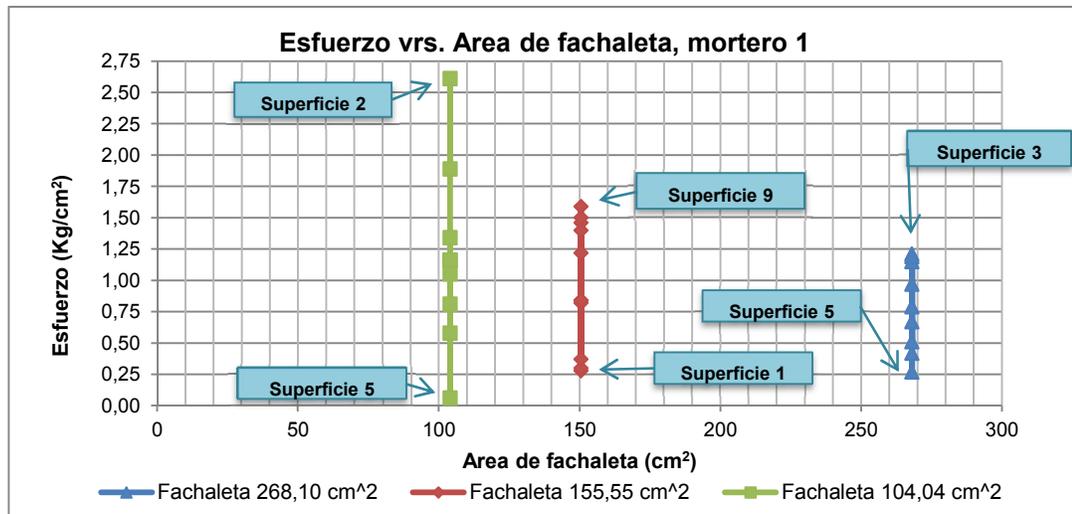
Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Presentación gráfica de resultados para ensayos de adherencia

Estos ensayos se realizaron para morteros fabricados *in situ* y morteros premezclados con el fin de hacer las respectivas comparaciones.

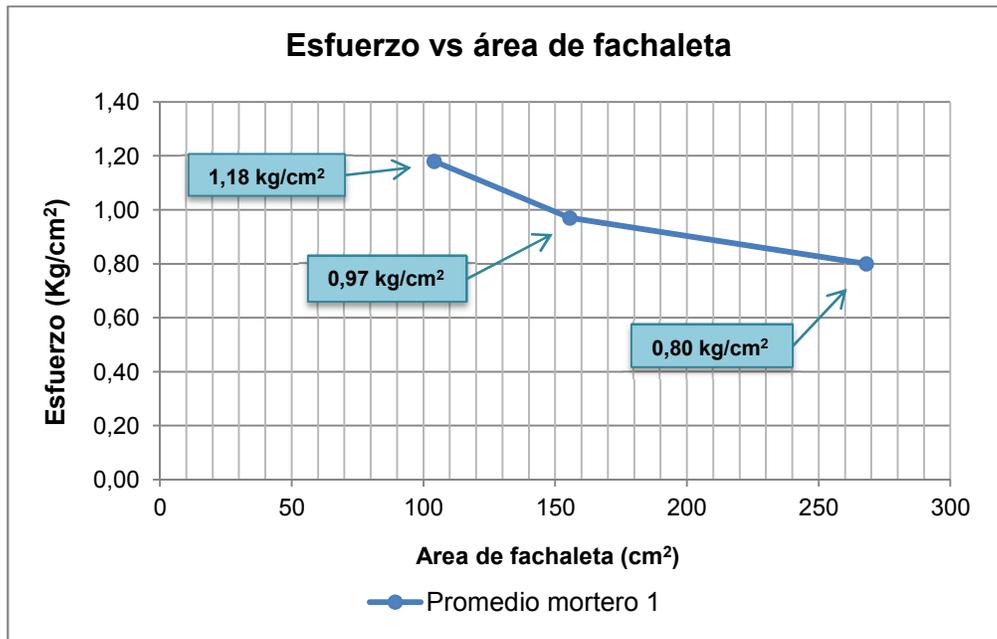
Figura 76. Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 1



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla VIII.

En la figura 76 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 1 (premezclado). Se observa que las superficies 2, 9 y 3 (repello liso, block natural, balaqueado liso), respectivamente son apropiadas para el mortero 1, debido a que estas superficies obtuvieron mayor capacidad de adherencia. Las superficies 1 y 5 (cernido remolineado, concreto liso), respectivamente presentan los valores más bajos de adherencia.

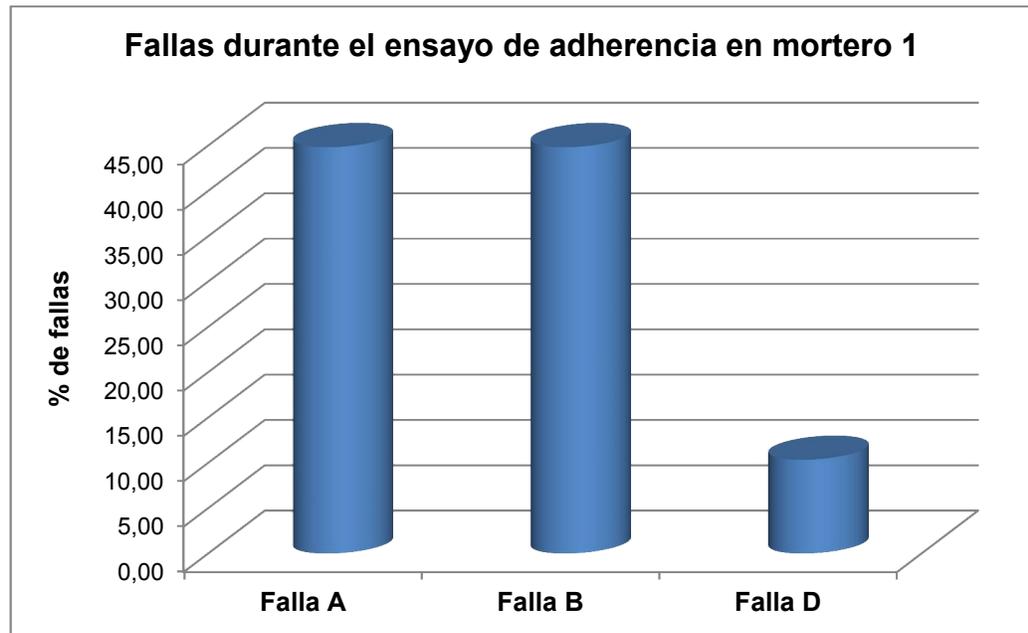
Figura 77. Valores promedio de esfuerzos vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 1



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XII.

En la figura 77 se presentan gráficamente los valores promedio obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 1 (premezclado). Se observa que las fachaletas con menor área son apropiadas para el mortero 1, siendo las de 104,04 cm² las que obtuvieron mayor capacidad de adherencia y las fachaletas con área 268,10 cm² representan los valores más bajos de adherencia.

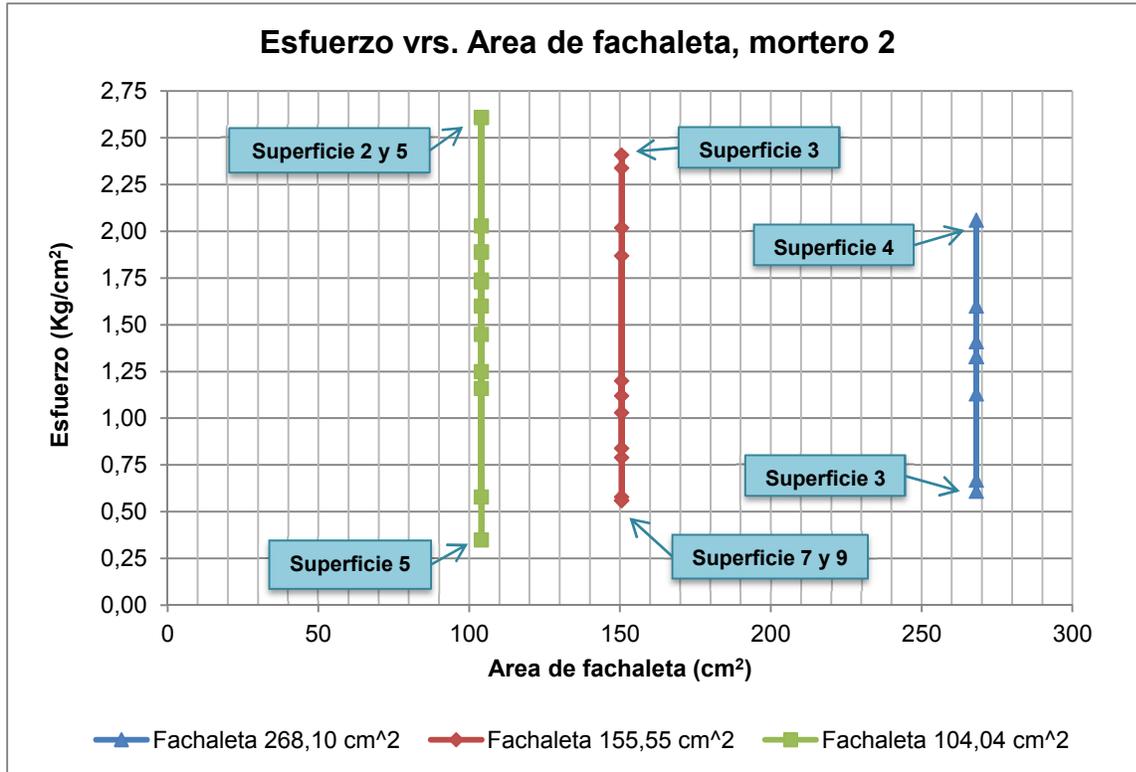
Figura 78. **Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 1**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla VIII.

En la figura 78 se presenta gráficamente el porcentaje para cada tipo de falla en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 1 (premezclado). Se observa que para falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte) se obtuvo el 45 %, para falla tipo B (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta), se obtuvo 45 % y para falla tipo D (cohesiva en el soporte) se obtuvo el 10 %.

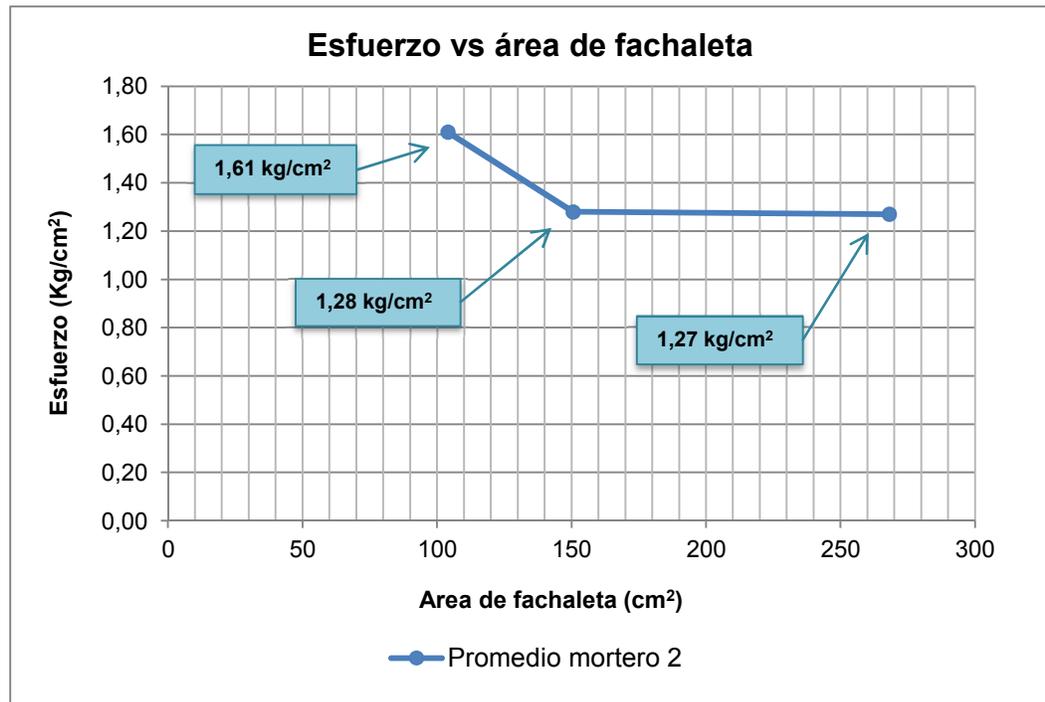
Figura 79. **Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 2**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla IX.

En la figura 79 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 2 (premezclado). Se observa que las superficies 2, 3, 4 y 5 (repello liso, blanqueado liso, repello rustico, concreto liso), respectivamente son apropiadas para el mortero 2, debido a que estas superficies obtuvieron mayor capacidad de adherencia. Las superficies 3, 5, 7 y 9 (blanqueado liso, concreto liso, lechada de cemento y arena, block natural), respectivamente presentan los valores más bajos de adherencia.

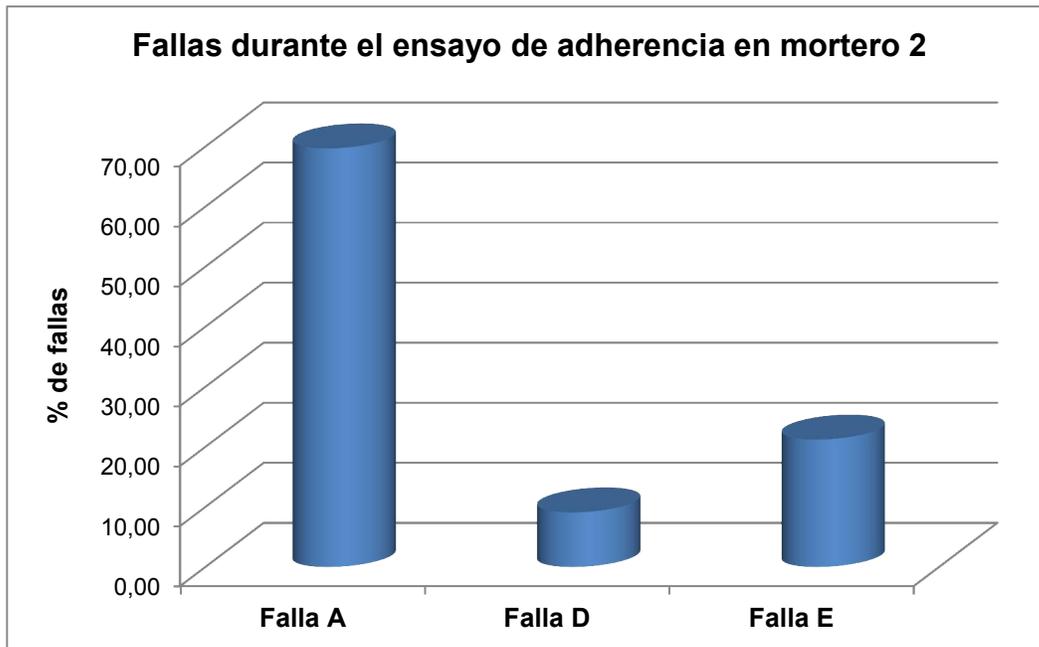
Figura 80. **Valores promedio de esfuerzos vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 2**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XIII.

En la figura 80 se presentan gráficamente los valores promedio obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 2 (premezclado). Se observa que las fachaletas con menor área son apropiadas para el mortero 2, siendo las de 104,04 cm² las que obtuvieron mayor capacidad de adherencia y las fachaletas con áreas de (268,10 cm² y 155,55 cm²), se comportan de manera similar con valores más bajos de adherencia.

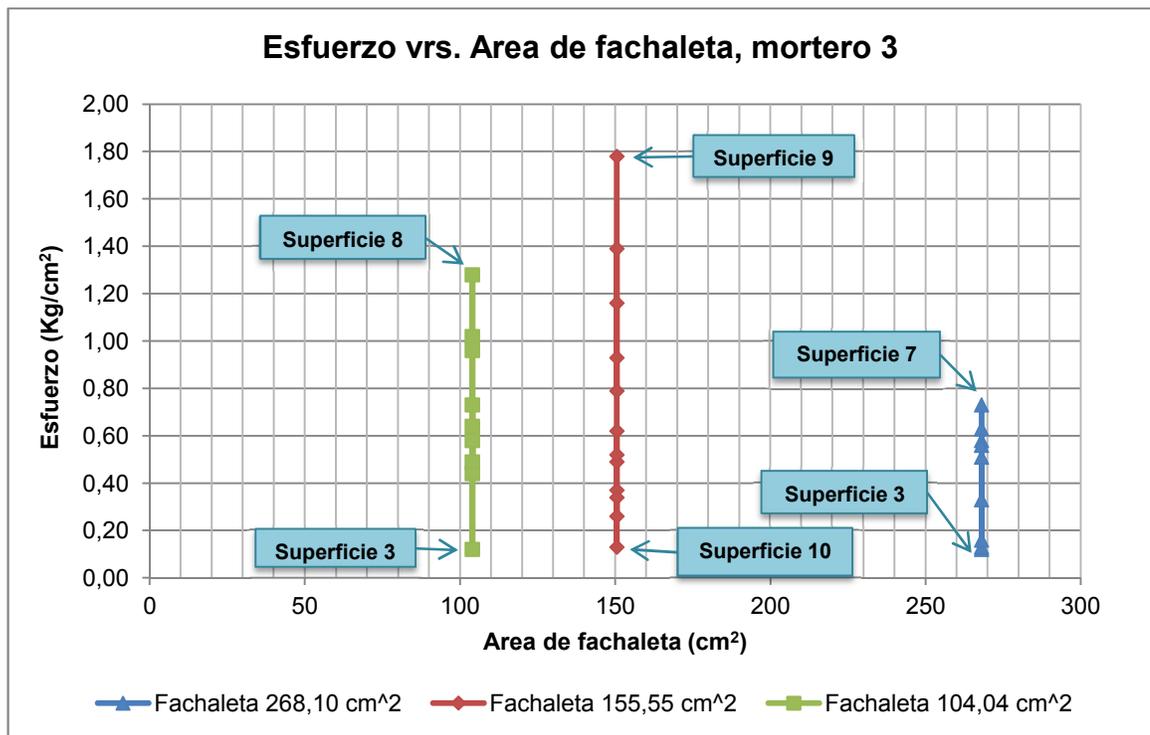
Figura 81. **Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 2**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla IX.

En la figura 81 se presenta gráficamente el porcentaje para cada tipo de falla en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 2 (premezclado). Se observa que para falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte) se obtuvo el 70 %, para falla tipo D (cohesiva en el soporte), se obtuvo 9 % y para falla tipo E (cohesiva en la fachaleta), se obtuvo el 21 %).

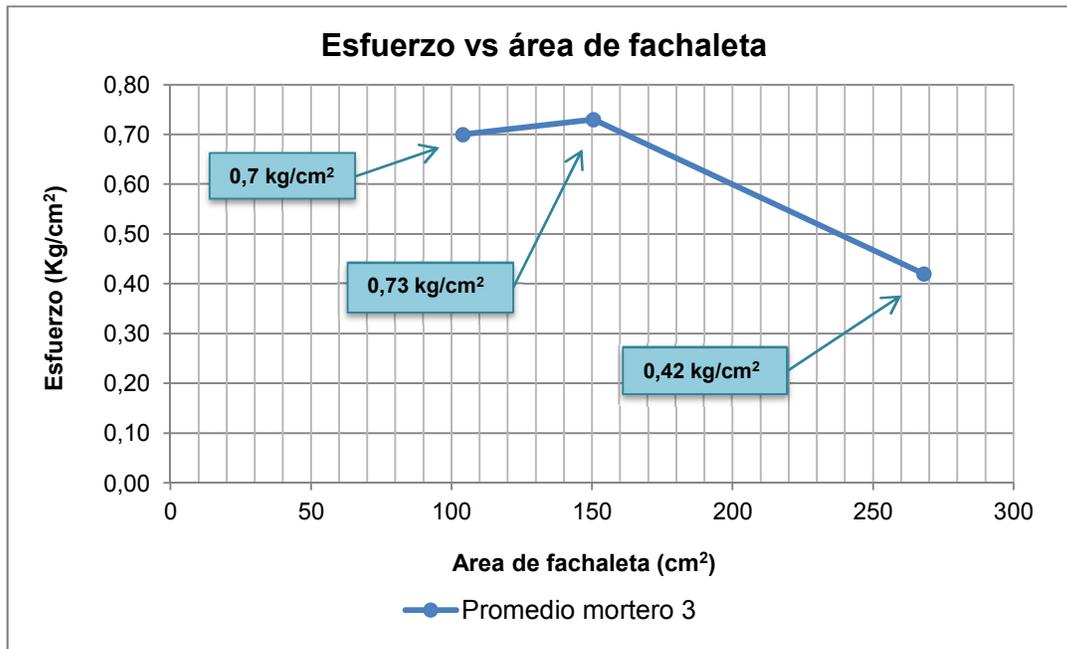
Figura 82. **Esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 3**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla X.

En la figura 82 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 3 (proporción 1:2). Se observa que las superficies 7, 8 y 9 (lechada de cemento y arena, cernido vertical, block natural), respectivamente son apropiadas para el mortero 3, debido a que estas superficies obtuvieron mayor capacidad de adherencia. Las superficies 3 y 10 (blanqueado liso, repello rugoso), respectivamente presentan los valores más bajos de adherencia.

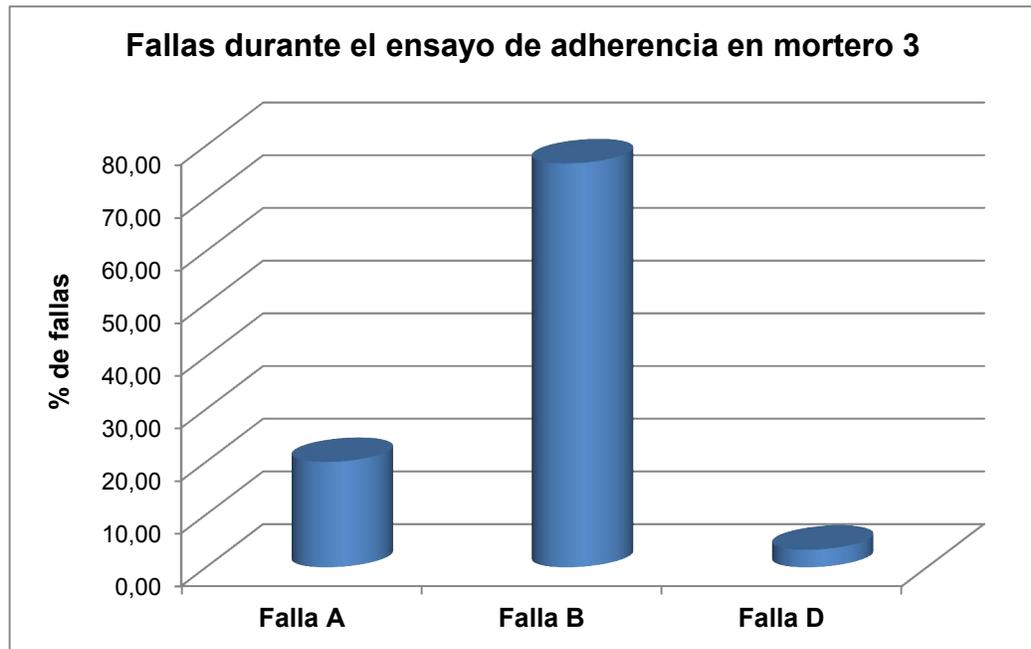
Figura 83. Valores promedio de esfuerzo vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 3



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XIV.

En la figura 83 se presentan gráficamente los valores promedio obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 3 (proporción 1:2). Se observa que las fachaletas con menor área tienen un comportamiento similar y son apropiadas para el mortero 3, siendo las de 155,55 cm² las que obtuvieron mayor capacidad de adherencia y las fachaletas con área 268,10 cm² representan los valores más bajos de adherencia.

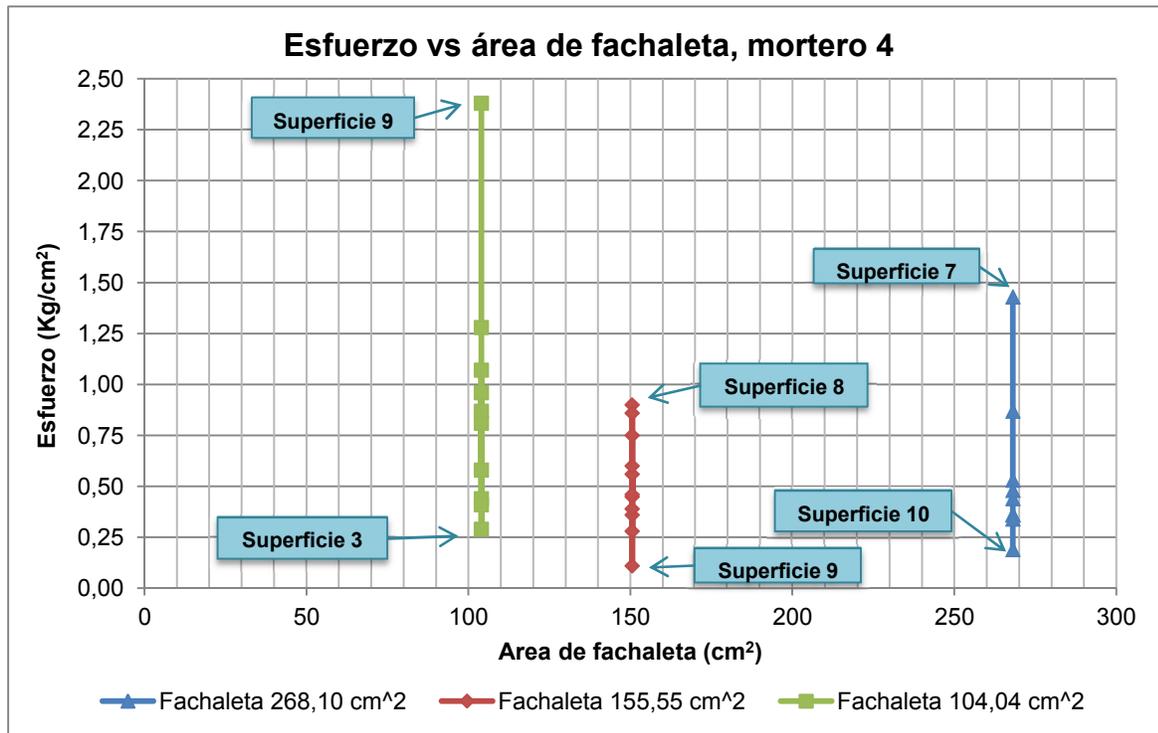
Figura 84. **Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 3**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla X.

En la figura 84 se presenta gráficamente el porcentaje para cada tipo de falla en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 3 (fabricado in situ proporción 1:2). Se observa que para falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte) se obtuvo el 20 %, para falla tipo B (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta) se obtuvo 77 % y para falla tipo D (cohesiva en el soporte), se obtuvo el 3 %.

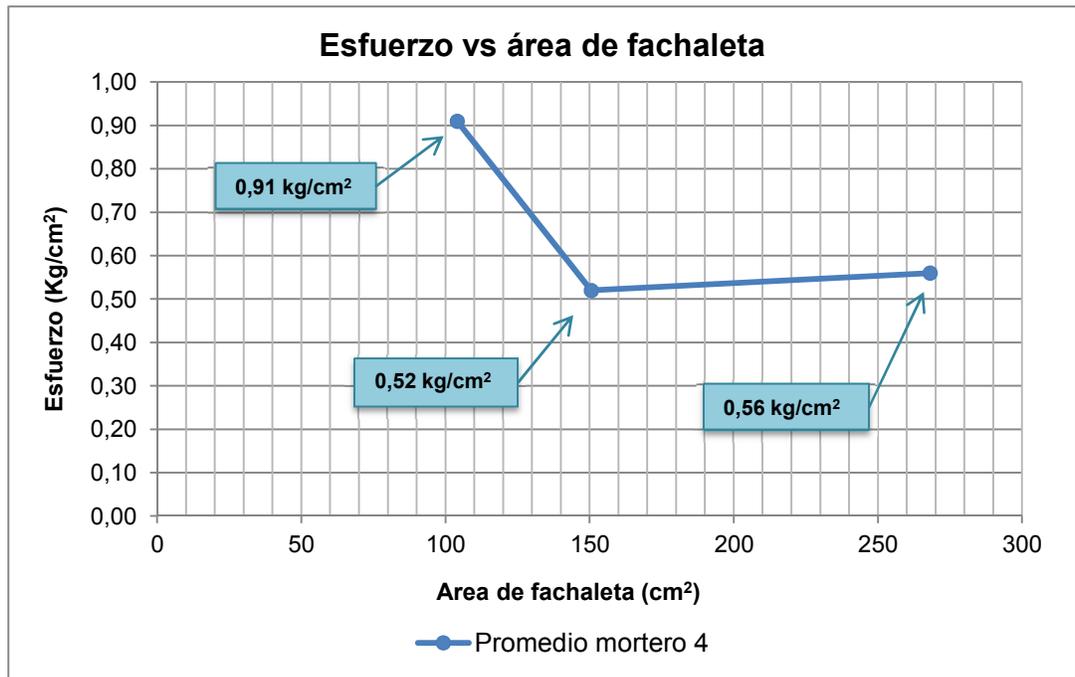
Figura 85. Gráfica esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para mortero 4



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XI.

En la figura 85 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 4 (proporción 1:3). Se observa que las superficies 7, 8 y 9 (lechada de cemento y arena, cernido vertical, block natural), respectivamente son apropiadas para el mortero 4, debido a que estas superficies obtuvieron mayor capacidad de adherencia. Las superficies 3, 9 y 10 (blanqueado liso, block natural, repello rugoso), respectivamente presentan los valores más bajos de adherencia.

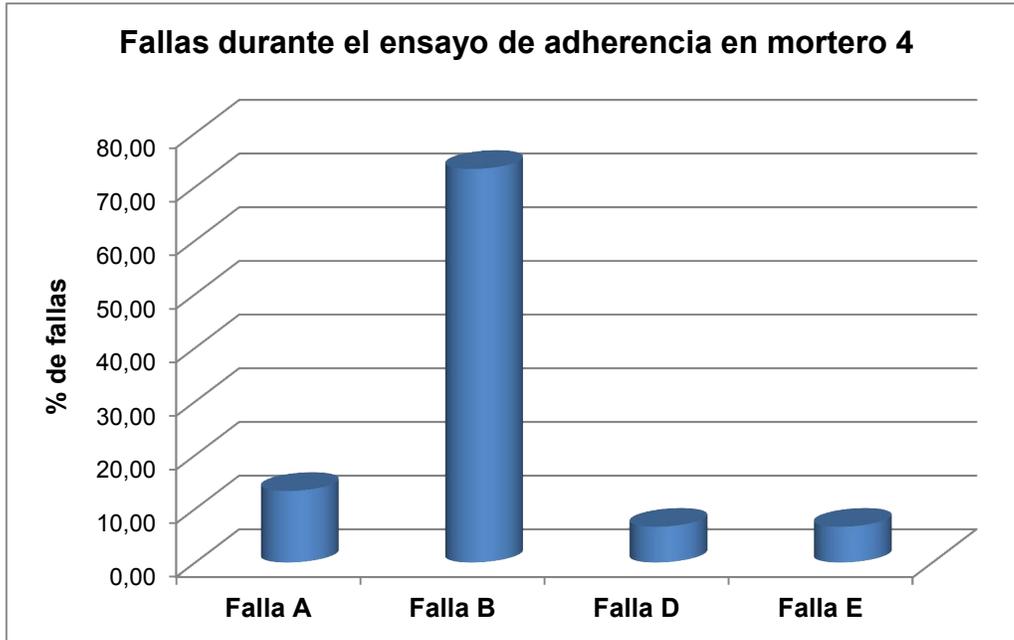
Figura 86. Valores promedio de esfuerzo vs área de fachaleta, del ensayo de adherencia para mortero 4



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XV.

En la figura 86 se presentan gráficamente los valores promedio obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 4 (proporción 1:3). Se observa que las fachaletas con menor área son apropiadas para el mortero 4, siendo las de 104,04 cm² las que obtuvieron mayor capacidad de adherencia y las fachaletas con áreas (150,55 cm² y 268,10 cm²), representan los valores más bajos de adherencia con un comportamiento similar.

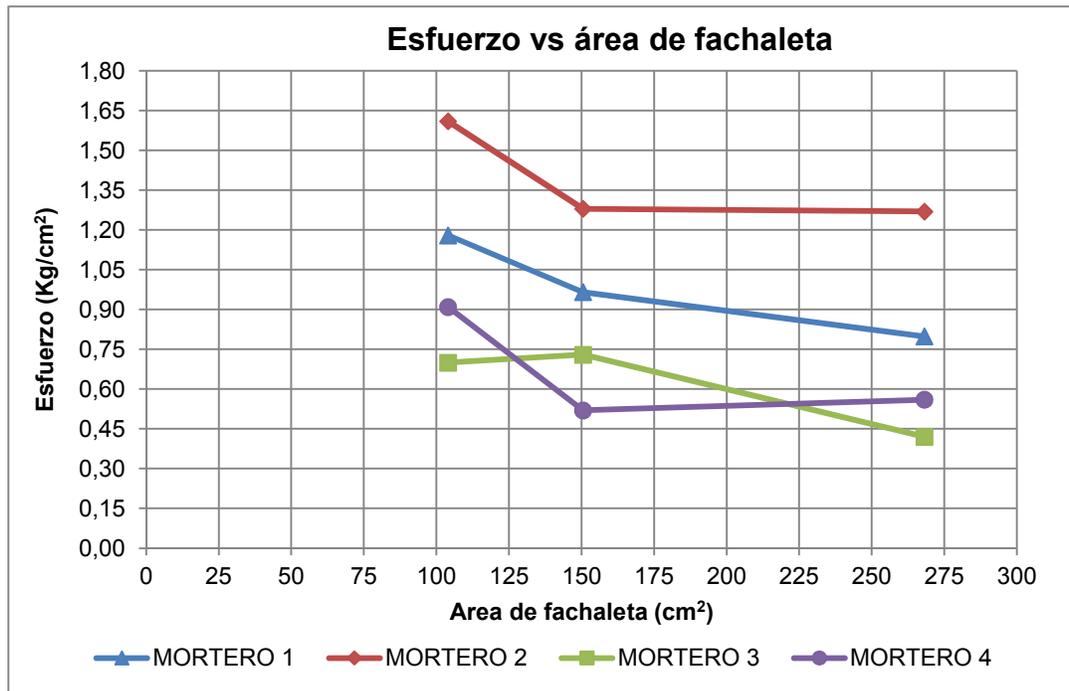
Figura 87. **Porcentaje de fallas para ensayo de adherencia en mortero 4**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en la tabla XI.

En la figura 87 se presenta gráficamente el porcentaje para cada tipo de falla en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para el mortero 4 (fabricado in situ proporción 1:3). Se observa que para falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte) se obtuvo el 13 %, para falla tipo B (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta), se obtuvo 73 %, para falla tipo D (cohesiva en el soporte), se obtuvo el 7 % y para falla tipo E (cohesiva en la fachaleta), se obtuvo el 7 %.

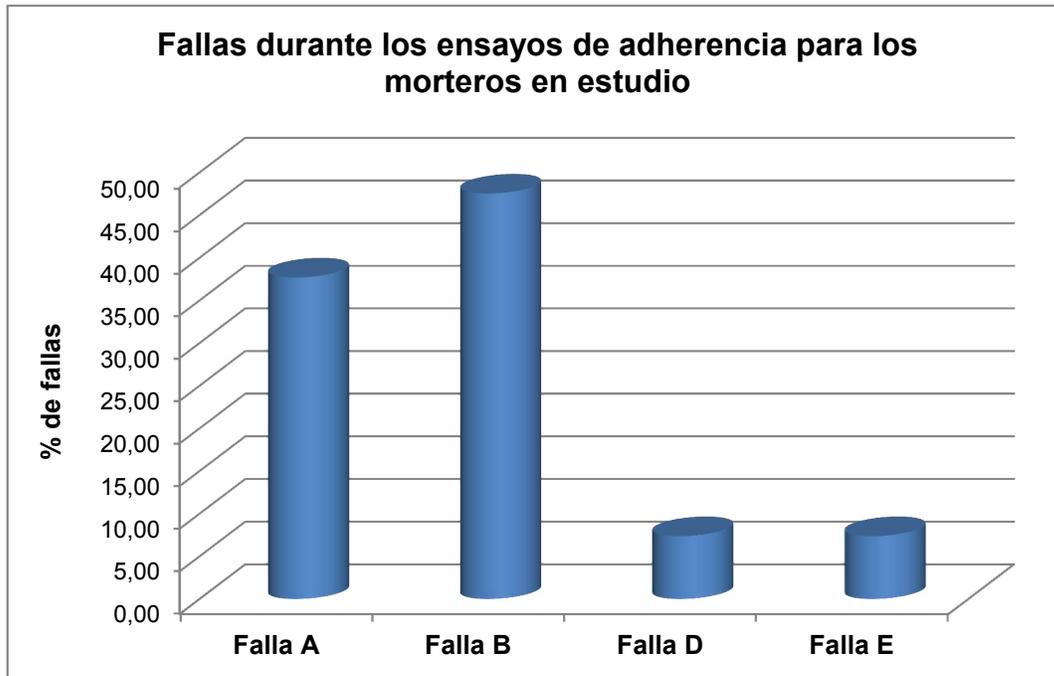
Figura 88. **Gráfica esfuerzo vs área de fachaleta, de los ensayos de adherencia para los morteros en estudio**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en las tablas XII, XIII, XIV y XV.

En la figura 88 se presentan gráficamente los resultados obtenidos en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para los mortero en estudio, se observa que los morteros 1 y 2 (premezclados), tienen mayor capacidad de adherencia siendo el mortero 2 el que soporto mayores esfuerzos de tracción entre los morteros en estudio, los morteros 3 y 4 (fabricados in situ proporción 1:2 y 1:3), tienen un comportamiento similar a esfuerzos de tracción pero con menor capacidad de adherencia que los morteros 1 y 2 (premezclados), siendo el mortero 3 el de menor capacidad de adherencia con esfuerzos promedio muy similares a los esfuerzos promedio del mortero 4.

Figura 89. **Porcentaje de fallas para los ensayos de adherencia**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en las tablas VIII, IX, X, XI.

En la figura 89 se presenta gráficamente el porcentaje para cada tipo de falla en los ensayos de adherencia inicial de fraguado rápido para los morteros en estudio. Se observa que para falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte), se obtuvo el 38 %, para falla tipo B (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta), se obtuvo 48 %, para fallas tipo D y E (cohesiva en el soporte, cohesiva en la fachaleta), respectivamente, se obtuvo 7 % para cada falla.

5.2. Resultados ensayo de absorción de agua para fachaletas

La absorción de agua máxima para elementos de barro cocido será la que indica la tabla 3 de la norma Coguanor NGO 41022, se preferirán los elementos de barro cocido de menor absorción de agua, el valor promedio para cinco fachaletas del ensayo de absorción de agua fue de 11,05 % siendo el parámetro más cercano que indica la norma del 12 % para elementos fabricados a máquina de grado 1.

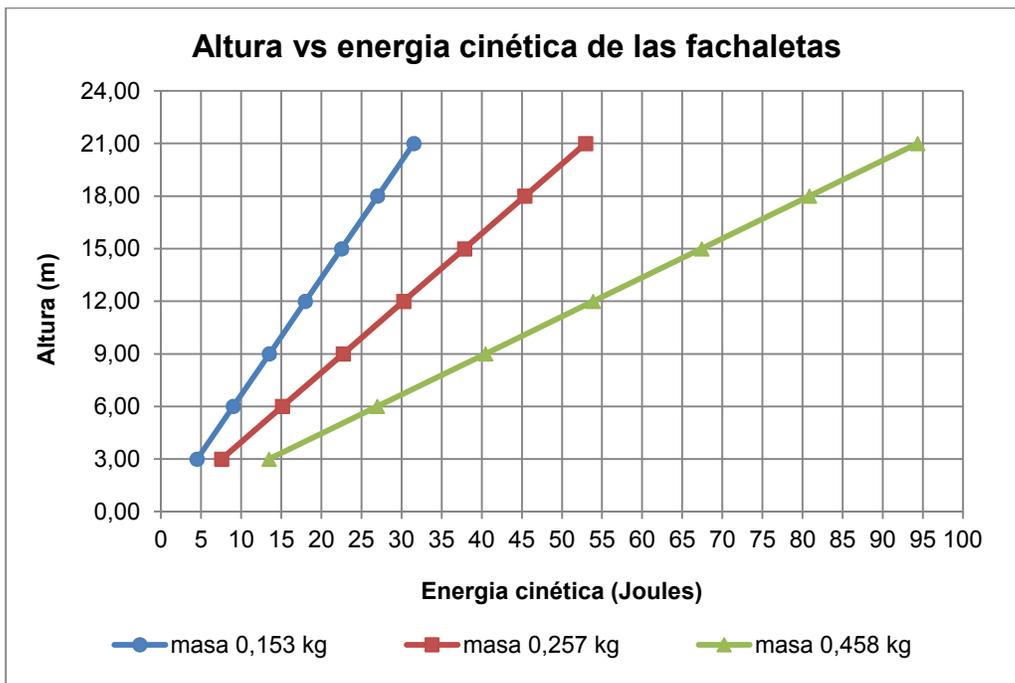
5.3. Resultados ensayo de succión de agua para fachaletas

La razón inicial de absorción de agua (succión) para elementos de barro cocido será la que indica la tabla 3 de la norma Coguanor NGO 41022, la razón inicial de absorción máximo para cada muestra debe ser de $0,15 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}$, cuatro de cinco fachaletas ensayadas no cumplieron con el requerimiento de la norma como se observa en la tabla XVIII, este no es motivo para descartar a las fachaletas debido a que se pueden mejorar sumergiéndolas en agua.

5.4. Energía de impacto para las fachaletas en estudio

Se asumieron diferentes alturas de colocación para las fachaletas, luego se calcularon y graficaron los valores de energía de impacto de las fachaletas, con el fin de observar el comportamiento general.

Figura 90. **Altura (m) vs energía de impacto (Joules) para las fachaletas en estudio**



Fuente: elaboración propia, con los datos obtenidos en las tablas XXI, XXII, XXIII.

En la figura 90 se presentan gráficamente los resultados de la energía de impacto para las fachaletas en estudio (tablas XXI, XXII, XXIII), la energía de impacto de las fachaletas presenta un comportamiento lineal, se incrementa debido al tamaño de la fachaleta y su altura de colocación.

CONCLUSIONES

1. Se logró evaluar la capacidad de adherencia de los morteros propuestos usando la norma Coguanor NTG 41101 h1 ensayo de adherencia inicial de fraguado rápido, los morteros premezclados tipo s obtuvieron mayor capacidad de adherencia.
2. El sistema fachaleta mortero y superficie varía su comportamiento mecánico de adherencia dependiendo de la porosidad de superficies, y la capacidad de absorción y succión de agua del sistema. En situaciones de precipitación se ve afectada la capacidad de adherencia en el sistema, los días con suficiente radiación solar son favorables para el sistema logrando un buen comportamiento.
3. Los morteros fueron evaluados bajo las mismas condiciones, tomando en cuenta diferentes tipos de superficies. En la figura 88 se observa el comportamiento general de los morteros propuestos, los morteros premezclados obtuvieron mejor desempeño a los esfuerzos de tracción siendo el mortero 2 el que presento mejores resultados de adherencia, los morteros fabricados in situ obtuvieron un comportamiento similar ante esfuerzos de tracción pero por debajo de la resistencia a tracción de los premezclados.

4. Se realizaron 122 ensayos de adherencia usando los morteros propuestos, de los cuales 58 pruebas presentaron falla tipo B (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y la fachaleta), esto representa el 48 % de los ensayos, 46 pruebas presentaron falla tipo A (adhesiva en la interfaz entre el adhesivo y el soporte), esto representa el 38 % de los ensayos, 9 pruebas presentaron falla tipo D (cohesiva en el soporte), esto representa el 7 % de los ensayos, 9 pruebas presentaron falla tipo E (cohesiva en el elemento cerámico), esto representa el 7 % de los ensayos.
5. De los tres tipos de fachaletas las de menor área resistieron mayores esfuerzos, debido a que tienen menor peso, menor área de contacto con la superficie de apoyo y existe mejor acomodamiento del mortero en relación a la fachaleta y la superficie de apoyo.
6. El valor de absorción de agua para el promedio de cinco unidades de fachaleta obtenido es menor a los establecidos en la Norma Coguanor NGO 41022, esto beneficia las propiedades mecánicas de adherencia entre la fachaleta y el mortero porque como indica la norma se requieren de unidades de barro cocido con menor absorción de agua.
7. Los valores de succión de agua para cinco fachaletas que se ensayaron, se obtuvieron cuatro fachaletas con mayor succión de agua a lo establecido en la Norma Coguanor NGO 41022, esto perjudica las propiedades mecánicas de adherencia entre la fachaleta y el mortero debido a que en los resultados de los ensayos de adherencia predominó falla tipo B, pero no es motivo para descartar los elementos debido a que se pueden mejorar sumergiéndolos en agua antes de su colocación.

8. La fachaleta puede actuar como un proyectil si se desprendiere de su lugar de colocación, dependiendo de la altura a la que se encuentre inicialmente la fachaleta así será la magnitud de energías potencial y cinética.

RECOMENDACIONES

1. Las fachaletas pueden ser utilizadas como un recubrimiento de protección ante los metros atmosféricos, en muros de mampostería o elementos estructurales en obras civiles.
2. Las propiedades mecánicas de las fachaletas permiten aumentar el aislamiento térmico y acústico en los muros de diferentes superficies.
3. Instalar las fachaletas con sisa para evitar futuros problemas de retención de humedad entre los elementos cerámicos.
4. Para obtener buena junta entre el mortero y la fachaleta se deben sumergir en agua las fachaletas durante 3 a 24 horas antes de ser colocadas.
5. Para el mortero elaborado in situ dado que la fabricación es artesanal y se puede hacer en obra, se debe llevar control de calidad en la mano de obra y en los materiales para la elaboración de estos, pues son un factor influyente en el comportamiento de estos.
6. El mortero de pega que se utiliza para la colocación de fachaletas debe tener una consistencia plástica, para que la trabajabilidad del mortero facilite su uso.

7. Para evitar el desprendimiento prematuro del mortero entre la superficie de apoyo y el elemento cerámico, este no debe sufrir movimientos luego de ser colocado.
8. El agua a utilizar en los morteros tiene que ser potable, debe estar libre de material orgánico, químicos o impurezas que puedan afectar la resistencia del mortero.
9. Cuando se coloquen fachaletas a grandes alturas se debe instalar provisionalmente un medio de seguridad, que no permita que estas impacten contra el suelo y causen accidentes.
10. Para posteriores estudios de este tipo, se recomienda evaluar el comportamiento del gradiente térmico de los elementos cerámicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Adherencia. Anfapa Asociación de Fabricantes de Morteros y Sate, 2018.* [en línea]. <<https://www.anfapa.com/es/morteros-para-la-colocacion-de-baldosas-ceramicas/179/introduccion-/1>>. [Consulta: 15 de diciembre de 2018].
2. AHUMADA, Moisés. *La arcilla.* [en línea]. <<https://www.academia.edu/37113580/>>. [Consulta: 14 de diciembre de 2018].
3. ARRIOLA, José. *Diseño de morteros con cemento hidráulicos para la construcción de muros con elementos de mampostería.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 120 p.
4. CASAÚ, José. *Estudio del daño en edificios derivado de las vibraciones mediante simulación numérica usando el método de redes.* grado en ingeniería de edificación. Escuela Técnica Superior de Arquitectura e Ingeniería de Edificación. Universidad Politécnica de Cartagena, 2018. 27 p.
5. COGUANOR. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la absorción de agua NGO 41024 h4.* Guatemala: Coguanor, 1982. 2 p.

6. _____. *Ladrillos de barro cocido. Determinación de la razón inicial de absorción succión* NGO 41024 h5. Guatemala: Coguanor, 1982. 4 p.
7. _____. *Ladrillos de barro cocido. Especificaciones* NGO 41022. Guatemala: Coguanor, 1982. 7 p.
8. _____. *Métodos de ensayo para el cumplimiento de las especificaciones de adhesivos premezclados en seco a base de cemento hidráulico para piezas cocidas, sin cocer y piedras naturales* NTG 41101 h1. Guatemala: Coguanor, 2017. 17 p.
9. CORZO, Mario. *Notas mamposterías de una sabandija*. 2a ed. Guatemala, 2017. 132 p.
10. De la PAZ, Verónica. *Vibraciones en edificios*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2018. 21 p.
11. GOMEZ, Sergio. *Caracterización físico mecánica de morteros utilizando agregado del municipio de San Cristóbal, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2006. 89 p.
12. Hildebrandt Gruppe, 2016. *Parámetros climáticos que afectan la arquitectura*. Hildebrandt Gruppe, 2016. [en línea]. <<http://www.hildebrandt.cl/influencia-de-las-condiciones-climaticas-en-los-edificios-pasivos/>>. [Consulta: 5 de junio de 2019].

13. Institut de Promoció Cerámica, 2007. *La adherencia mecánica en los morteros*. [en línea]. <http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/mat_agarre/adherencia/mecanica.html>. [Consulta: 15 de diciembre de 2018].
14. LOPEZ, Nayeli. *Análisis y evaluación de las vibraciones causadas por tráfico y su impacto en zonas de vivienda*. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 2014. 137 p.
15. MOLINA, Kenneth. *Evaluación de morteros para albañilería y revestimientos elaborados a base de cementos mezclados con escoria de horno*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2006. 53 p.
16. MONZON, Héctor. *Manual de diseño sismo resistente simplificado mampostería de block de concreto para Guatemala*. Guatemala: AGIES DSE 4.01, 2015. 157 p.
17. Morteros industriales semiterminados. *Construmatica Arquitectura, Ingeniería y Construcción*. [en línea]. <https://www.construmatica.com/construpedia/Introducci%C3%B3n_a_los_morteros>. [Consulta: 17 de diciembre de 2018].
18. SAGASTUME, Wendy. *Influencia de los factores climáticos en el diseño para la vivienda urbana ubicada en climas extremos*. Trabajo de

graduación de arquitectura. Facultad de Arquitectura y Diseño,
Universidad Rafael Landívar, Guatemala: 2006. 173 p.

19. VILLEDA, Ana. *Materiales actuales en la arquitectura de interiores*. Trabajo de graduación de arquitectura. Facultad de Arquitectura, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. 133 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Ensayo de prisma a corte con fachaleta



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

Apéndice 2. Ensayo de prisma a compresión con fachaleta



Fuente: elaboración propia, en la Sección de Estructuras CII, USAC.

ANEXO

Anexo 1. Requisitos físicos del ladrillo de barro cocido

Tabla 3. Requisitos físicos del ladrillo de barro cocido

Requisitos	Tipo MQ, ladrillos hechos a máquina						Tipo MA, ladrillos hechos a mano					
	Clase P, o perforado			Clase T, o tubular			Clase M, o macizo			Clase M, o macizo		
	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 2	Grado 3	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Resistencia a la compresión, en megapascal, mínimo - promedio de 5 unidades - individual	12	8	4.5	8	4.5	4.5	12	8	4.5	12	8	4.5
	9	6	3.5	6	3.5	3.5	9	6	3.5	9	6	3.5
Adherencia, en megapascal, mínimo - promedio de 3 especímenes - espécimen individual	0.4	0.4	0.25	0.4	0.4	0.25	0.4	0.4	0.25	0.4	0.4	0.25
	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2
Absorción de agua en 24 h, en porcentaje, máximo (1) - promedio de 5 unidades - individual	12	14	18	14	18	18	14	14	18	14	16	20
	14	16	20	16	20	20	16	16	20	16	18	24
Tolerancia individual en milímetros, máximo: a) en las dimensiones <i>reales</i> . b) en la planicidad c) en la rectitud de las aristas d) en la desviación del ángulo recto	± 4	± 5	± 5	± 5	± 5	± 5	± 4	± 5	± 5	± 4	± 5	± 5
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ratio inicial de absorción (succión), en g/(m ² ·h) máximo para cada espécimen individual (2)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

(1) Este requisito no servirá de base para rechazar un ladrillo toda vez que este cumple con las demás especificaciones; sin embargo, se preferirán los ladrillos de menor absorción. La llamada (2) aparece en la página 6 siguiente.

Fuente: Norma COGUANOR NGO 41022, tabla 3.

