



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

EVALUACIÓN DE MORTEROS CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER

Cristian John Paul Lewis Rodríguez

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, noviembre 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE MORTEROS CEMENTICIOS DE REPARACIÓN
POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CRISTIAN JOHN PAUL LEWIS RODRÍGUEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2019

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 Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

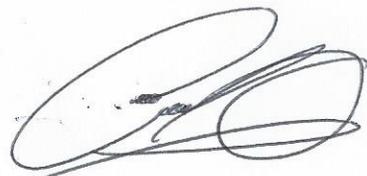
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio Díaz García
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo 2015.



Cristian John Paul Lewis Rodríguez

Guatemala 4 septiembre, 2019

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

Estimado Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente comunico a usted, que he procedido a revisar el trabajo de graduación titulado **"EVALUACIÓN DE MORTEROS CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER"** elaborado por el estudiante Cristian John Paul Lewis Rodríguez quien se identifica con el número de DPI 2289-68003-0101 y número de carné 2013-13950. A su vez quiero mencionar que el mismo cumple los objetivos trazados de acuerdo con el protocolo presentado, por lo que le doy por APROBADO, de tal manera, se solicita darle trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo de usted, atentamente.



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Mario Corzo".

Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

Mario Rodolfo Corzo Ávila
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,
05 de septiembre de 2019

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 CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Cristian John Paul Lewis Rodríguez, CUI 2289680030101 y No. De Registro Estudiantil 201313950 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,

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Ing. Civil Wuilliam Ricardo Yon Chavarría
Coordinador del Area de Materiales y
Construcciones Civiles

/mrrm.



Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua



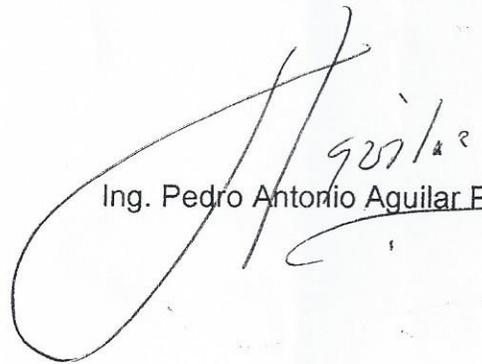
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

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

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y Coordinador del Departamento de Materiales y Construcciones Civiles Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría al trabajo de graduación del estudiante Cristian John Paul Lewis Rodríguez **EVALUACIÓN DE MORTEROS CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGUER** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, noviembre 2019

/mrm.



Universidad de San Carlos
de Guatemala

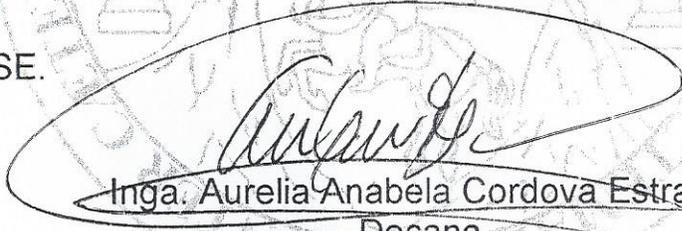


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref.DTG.540.2019

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 CEMENTICIOS DE REPARACIÓN POR EL MÉTODO DEL BLOQUE DE BAENZIGER**, presentado por el estudiante universitario: **Cristian John Paul Lewis Rodríguez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, Noviembre de 2019



AACE/asga
cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Creador e ingeniero del universo, padre, maestro, consejero y mi amigo, por guiar e iluminar mi mente y corazón dándome inteligencia, entendimiento, sabiduría y convertir lo que en mi niñez era un sueño, hoy, en una realidad.

A mis padres

Paul Armando Lewis Aguilar y Oralia Angélica Rodríguez Martín, personas únicas ya que, gracias a su apoyo incondicional, motivación, sabios consejos y amor, he llegado alcanzar mis metas. Este triunfo no solo es mío sino de ellos también.

A mi hermano

Ricardo Lewis. Por todos los buenos momentos que pasamos juntos, por su apoyo y cariño, para quien quiero ser un buen ejemplo de hermano.

A mi familia

Por sostenernos mutuamente en el camino de la vida y tener tantos momentos inolvidables, son un gran regalo que la vida me dio.

Mis amigos y amigas

Quienes con su alegría, entusiasmo, sonrisas y cariño hacen mi vida más agradable y feliz.

AGRADECIMIENTOS A:

- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por la oportunidad de formarme como profesional y abrir sus puertas de conocimiento, ciencia y sabiduría, y en ella a todas las personas que ya sea de manera directa o indirecta fueron partícipes de este proceso.
- Facultad de ingeniería** A las autoridades, docentes y trabajadores, quienes con paciencia y esfuerzo me ayudaron a adquirir las habilidades y conocimientos necesarios para desenvolverme como profesional. Gracias por el buen trabajo realizado.
- Mi asesor de tesis** Ing. Mario Corzo, por su valiosa asesoría, disposición para realizar este trabajo de graduación y su amistad.
- Mi co-asesor de tesis** Ing. Kennet Molina, por su orientación y tiempo brindado en la elaboración de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 Placa SPS (<i>Plate-Structural Preservation System</i>)	1
1.2 Caja de ensayo de geometría (<i>Box Test Geometry</i>)	2
1.3 Prueba de ángulo alemán (<i>German angle test</i>).....	4
1.4 Prueba de Laval, deflexión de viga (<i>Laval beam deflection test</i>).....	5
1.5 Bloque Baenziger	6
2. MORTEROS CEMENTICIOS.....	9
2.1 Tipos de morteros.....	9
2.1.1 Usos de los morteros cementicios	10
2.1.2 Morteros de reparación.....	10
2.1.2.1 Mortero de reparación hidráulico	11
2.1.2.2 Mortero de reparación hidráulico modificado con polímeros.....	12
2.1.2.3 Mortero de reparación polimérico	13
2.2 Propiedades de los morteros cementicios.....	13
2.2.1 Propiedades en estado plástico.....	14

	2.2.1.1	Endurecimiento a través del tiempo	14
	2.2.1.2	Trabajabilidad.....	15
	2.2.1.3	Retención de agua	15
2.2.2		Propiedades en estado endurecido.....	16
	2.2.2.1	Resistencia a la compresión.....	16
	2.2.2.2	Resistencia a la tracción.....	17
	2.2.2.3	Retracción	17
	2.2.2.4	Adherencia	18
	2.2.2.5	Permeabilidad	18
	2.2.2.6	Durabilidad	19
3.		PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	21
3.1		Lesiones.....	21
	3.1.1	Tipos de lesiones	22
	3.1.1.1	Lesiones físicas.....	22
	3.1.1.2	Lesiones mecánicas.....	23
	3.1.1.3	Lesiones químicas.....	24
	3.1.2	Fisuras.....	26
	3.1.2.1	Clasificación de las fisuras de acuerdo a su origen y momento de aparición.....	27
	3.1.3	Grietas.....	38
	3.1.3.1	Grietas producidas por cargas que originan esfuerzos	38
	3.1.3.2	Por dilataciones y contracciones higrótérmicas.....	40
	3.1.3.3	Asentamientos diferenciales en fundiciones	40
	3.1.3.4	Evaluación de la fisuración.....	41

	3.1.3.5	Métodos de reparación de fisuras.....	43
4.		BLOQUE BAENZIGER.....	49
	4.1	Diseño y datos técnicos.....	49
	4.2	Usos del bloque Baenziger.....	52
	4.3	Fabricación y detalles.....	53
		4.3.1 Formaleteado.....	53
		4.3.2 Materiales de construcción	58
		4.3.3 Diseño de mezclas	59
		4.3.4 Mezcla de elementos.....	62
		4.3.5 Curado de bloque	65
		4.3.6 Resistencia de la mezcla de concreto	67
	4.4	Evaluación de morteros cementicios de reparación	70
		4.4.1 Morteros de reparación.....	71
		4.4.2 Mezcla y aplicación.....	74
		4.4.3 Ensayo a compresión	76
		4.4.4 Evaluación por el bloque Baenziger	85
		4.4.4.1 Fisuras en morteros a las veinte (20) horas de fraguado.....	86
		4.4.4.2 Fisuras en morteros a las cuarenta y ocho (48) horas de fraguado.....	90
		4.4.4.3 Fisuras en mortero de reparación setenta y dos (72) horas después de fundición	96
		4.4.4.4 Fisuras en mortero de reparación quince (15) días después de fundición	100

4.4.4.5	Fisuras en mortero de reparación treinta y cinco (35) días después de fundición.....	102
4.4.4.6	Fisuras en mortero de reparación sesenta y cuatro (64) días después de fundición.....	105
4.4.4.7	Fisuras en mortero de reparación 1, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.	108
4.4.4.8	Fisuras en mortero de reparación 2, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.	110
4.4.4.9	Fisuras en mortero de reparación 3, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.	112
4.4.4.10	Fisuras en mortero de reparación 4, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.	114
4.4.4.11	Fisuras en mortero de reparación 5, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.	116
4.4.5	Ensayo a flexión a los bloques	118
4.4.5.1	Descripción del ensayo	118
4.4.5.2	Resultados del ensayo	120
CONCLUSIONES.....		125
RECOMENDACIONES		127
BIBLIOGRAFÍA.....		129
APÉNDICES.....		133

ANEXOS..... 145

INDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista esquemática del plato SPS	2
2.	Vista esquemática de la caja de ensayo de geometría	3
3.	Vista esquemática del ángulo alemán.....	4
4.	Vista esquemática de la prueba de Laval.....	5
5.	Vista esquemática bloque Baenziger	7
6.	Mezcla de mortero de reparación, inicio del estado plástico	14
7.	Especímenes cúbicos de morteros de reparación endurecidos	16
8.	Distintos tipos de fisuras en una estructura.....	27
9.	Fisuras por retracción durante el fraguado.....	29
10.	Fisuración por asentamiento plástico	31
11.	Fisuras por poco recubrimiento	31
12.	Fisuras por corrosión de armaduras.....	34
13.	Fisuras en muro de contención por contracción térmica inicial	35
14.	Fisuración por dilatación térmica.....	36
15.	Fisuración adherencia en voladizo	36
16.	Fisuras debido a concentraciones de tensiones en esquinas de vanos	37
17.	Grietas provocadas por esfuerzos y asentamientos más comunes	39
18.	Grietas por asentamientos y empujes más comunes.....	40
19.	Regla de fisuras o fisurómetro manual.....	42
20.	Radiografía de concreto	43
21.	Planta bloque Baenziger	50
22.	Secciones bloque Baenziger.....	50

23.	Madera de pino utilizada para construcción de formaletas	53
24.	Cepillado de madera de pino con una cepilladora industrial	54
25.	Canteado de la madera con una canteadora industrial.....	54
26.	Unión de piezas para construcción de formaleta	55
27.	Formaleta bloque Baenziger	56
28.	Superficie donde se aplica retardante en formaleta de bloque	57
29.	Aplicación de retardante y desencofrante en formaleta de bloque	57
30.	Materiales para fabricar el bloque Baenziger.....	59
31.	Medición de aditivo con probeta de 100 ml.....	62
32.	Mezcla de materiales	63
33.	Colocación de parrilla de acero.....	63
34.	Cilindros de concreto de ensayo.....	64
35.	Desencofre de bloque Baenziger.....	65
36.	Remoción de capa superficial de concreto con agua a presión	66
37.	Curado de bloque Baenziger y cilindros de ensayo	67
38.	Curva $f'c$ vs tiempo – cilindros de ensayo	69
39.	Cilindro de concreto ensayado – 7 días.....	70
40.	Preparación de bloque Baenziger para colocación de morteros de reparación.....	71
41.	Mezcla de morteros de reparación.....	74
42.	Aplicación de líquido de curación sobre bloques	75
43.	Cubos de morteros de reparación.....	77
44.	Ensayo de compresión morteros de reparación	84
45.	Comparación de la resistencia a la compresión de morteros de reparación.....	85
46.	Fisuras en mortero de reparación 1 - Veinte (20) horas después de su fundición.....	86
47.	Fisuras en mortero de reparación 2 - Veinte (20) horas después de su fundición.....	87

48.	Fisuras en mortero de reparación 3 - Veinte (20) horas después de su fundición	87
49.	Fisuras en mortero de reparación 4 - Veinte (20) horas después de su fundición	88
50.	Fisuras en mortero de reparación 5 - Veinte (20) horas después de su fundición	89
51.	Fisuras en mortero de reparación 1 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición	91
52.	Fisuras en mortero de reparación 2 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición	92
53.	Fisuras en mortero de reparación 3 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición	93
54.	Fisuras en mortero de reparación 4 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición	94
55.	Fisuras en mortero de reparación 5 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición	95
56.	Fisuras en mortero de reparación 1 – Setenta y dos (72) horas después de fundición	97
57.	Fisuras en mortero de reparación 2 – Setenta y dos (72) horas después de fundición	97
58.	Fisuras en mortero de reparación 3, 4 y 5 – Setenta y dos (72) horas después de fundición	98
59.	Bloques Baenziger – Setenta y dos (72) horas después de fundición de morteros	99
60.	Fisuras en mortero de reparación – Quince (15) días después de fundición.....	100
61.	Bloques Baenziger – Quince (15) días después de fundición de morteros.....	101

62.	Fisuras en mortero de reparación – Treinta y cinco (35) días después de fundición	103
63.	Bloques Baenziger – Treinta y cinco (35) días después de fundición de morteros	104
64.	Fisuras en mortero de reparación – Sesenta y cuatro (64) días después de fundición.....	105
65.	Bloques Baenziger – Sesenta y cuatro (64) días después de fundición de morteros	107
66.	Fisuras en mortero de reparación 1 - ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.....	108
67.	Bloque Baenziger 1 - 142 días de evaluación.....	109
68.	Fisuras en mortero de reparación 2	110
69.	Bloque Baenziger 2 - 142 días de evaluación.....	111
70.	Fisuras en mortero de reparación 3	112
71.	Bloque Baenziger 3 - 142 días de evaluación.....	113
72.	Fisuras en mortero de reparación 4	114
73.	Bloque Baenziger 4 - 142 días de evaluación.....	115
74.	Fisuras en mortero de reparación 5	116
75.	Bloque Baenziger 5 - 142 días de evaluación.....	117
76.	Diagramación del aparato preparado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de la luz.....	118
77.	Bloque Baenziger en máquina de ensayo	119
78.	Deformímetro en ensayo a flexión	119
79.	Bloque 5 ensayado a flexión.....	121
80.	Bloque Baenziger 4 ensayado a flexión, con sección de mortero tomada para muestra al horno	122

TABLAS

I.	Geometría de las cajas experimentales	3
II.	Resumen datos técnicos bloque Baenziger	51
III.	Diseño de mezcla teórico – Bloque Baenziger.....	60
IV.	Diseño en peso para bacheada de 70 litros	61
V.	Cargas aplicadas a cilindros de ensayo en edades de maduración a la resistencia a compresión.....	69
VI.	Comparativa entre especímenes por evaluar.....	72
VII.	Información de mezclado y aplicación de morteros en bloques Baenziger	76
VIII.	Datos obtenidos ensayo a compresión de cubos de mortero de reparación	78
IX.	Resumen de cálculos obtenidos sobre morteros	82
X.	Resumen de cálculos de resistencia a la compresión de los especímenes evaluados.....	83
XI.	Datos de fisuras en mortero de reparación 1 – 20 horas	86
XII.	Datos de fisuras en mortero de reparación 2 – 20 horas	87
XIII.	Datos de fisuras en mortero de reparación 3 – 20 horas	88
XIV.	Datos de fisuras en mortero de reparación 5 – 20 horas	90
XV.	Datos de fisuras en mortero de reparación 1 – 48 horas	91
XVI.	Datos de fisuras en mortero de reparación 2 – 48 horas	92
XVII.	Datos de fisuras en mortero de reparación 3 – 48 horas	93
XVIII.	Datos de fisuras en mortero de reparación 5 – 48 horas	96
XIX.	Datos obtenidos del ensayo a flexión en bloques	120
XX.	Datos sobre espécimen sometido al horno	122

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área de la sección transversal en m ²
P	Carga máxima aplicada en Newton (N).
cm	Centímetro
C.V.	Coeficiente de variación
Ø	Diámetro de una circunferencia
σ	Desviación estándar
°C	Grado centígrado
hrs	Horas
km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metros cuadrados
\bar{X}	Media aritmética
MPa	Megapascal
mm	Milímetro
N	Newton
N/m²	Pascal
%	Porcentaje
pulg	Pulgada
r	Radio de una circunferencia
f_m	Resistencia a la compresión del mortero de reparación
π	Número pi. Relación entre la longitud de una circunferencia y su diámetro
f'c	Resistencia especificada a la compresión del concreto

GLOSARIO

ACI	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto).
Adherencia	Adhesión y enlace entre los morteros de reparación con las unidades de mampostería, elementos estructurales y los conectores. Es un indicativo de la capacidad de los morteros para atender esfuerzos normales y tangenciales a las superficies con las cuales se une.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales).
Catálisis	Proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador. Las que desactivan la catálisis son denominadas inhibidores.
Carga axial	Si la línea de acción de la fuerza pasa por el centroide de la sección considerada.
COGUANOR	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas

Cohesión	Acción y efecto de adherirse o reunirse las cosas entre sí. La fuerza de cohesión es la atracción entre moléculas que mantiene unidas las partículas de una sustancia.
Concreto simple	Concreto estructural sin refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado. Es el resultado de la pérdida de humedad.
Contracción	Disminución de volumen que experimenta el mortero durante el proceso de endurecimiento y secado.
Corrosión	Deterioro de un metal debido a las reacciones químicas al ser expuesto a algún agente oxidante.
Curado	Período en el cual un elemento gana resistencia.
Deformación	Cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.
Deformímetro	Aparato que mide las deformaciones de un material o elemento estructural.
Dilatación	Proceso físico por el cual se producen cambios de volumen debido a las variaciones de temperatura.

Ductilidad	Propiedad de los materiales que, bajo la acción de fuerzas, pueden deformarse plásticamente sin romperse.
Esfuerzo	Fuerza por unidad de área o intensidad de las fuerzas distribuidas sobre una sección dada.
Espécimen	Unidad o parte de esta, o porción de mortero que hace parte de la muestra y que se somete a ensayo.
Formaleta	Moldes o encofrados de madera, metal u otro material, en donde se vierte una sustancia para crear una estructura o forma en particular en una construcción.
Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.
Homogéneo	Sustancia, mezcla, vertido que exhiben composición y estructura uniformes.
Monómero	Moléculas pequeñas o simples que constituyen la unidad estructural básica o esencial de moléculas más grandes o complejas denominadas polímeros.
Permeabilidad	Capacidad que tiene un material de dejar pasar a través de sí un flujo, sin alterar su estructura interna.

Plasticidad	Comportamiento mecánico característico de ciertos materiales anelásticos. Consiste en la capacidad de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico.
Polímero	Macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas (monómeros) que se repiten a lo largo de toda una cadena.
Resina	Sustancia sintética o natural que se utiliza por sus propiedades químicas como adherente.
Resina epoxi	Polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.
Retracción	Reducción de volumen del mortero durante el proceso de fraguado, debido a la pérdida de agua. Genera tensiones internas.
Rigidez	Medida cualitativa de la resistencia a las deformaciones elásticas producidas por un material, que contempla la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones.
SPS	<i>Structural Preservation System</i> – Sistema de preservación estructural.

Tensión	Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo tienden a elongar.
Tixotropía	Fluido que tarda un tiempo finito para alcanzar una viscosidad de equilibrio cuando ocurre un cambio instantáneo al ritmo del cizallamiento.
Trabajabilidad	Característica de un mortero en cuanto a su facilidad para ser colocado o extendido.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se presenta el estudio de las características físicas de los morteros cementicios de reparación, al igual que la correlación entre distintas particularidades de los mismos como la contracción, dilatación, fisuración y adherencia, mediante un estudio experimental de ensayos en el bloque Baenziger.

En el capítulo primero se desglosan las generalidades de los estudios previos sobre las contracciones restringidas en los morteros de reparación. Van desde la observación y medición de la deflexión de los cuerpos de los morteros a la mitad del tramo y al final, cuando tienen forma de paralelepípedo.

En el capítulo segundo se abordan temas acerca de los tipos de morteros de reparación, usos y propiedades. En el capítulo tres se define la patología en la construcción, que es un estudio de las lesiones en las estructuras. Engloba los tipos más significativos de los tipos de fisuras, clasificación, evaluación y métodos de reparación.

En el capítulo cuatro se detallan las especificaciones técnicas del bloque Baenziger, así como el diseño para su correcta construcción, los pasos para la fabricación y los usos que se le puede dar al método de evaluación. En el cuerpo de la sección se desglosa el estudio de los cinco especímenes utilizados para la fisuración donde se colocaron bajo las condiciones meteorológicas de campo. En la última parte se dan los datos de los análisis realizados y sus respectivos cálculos matemáticos.

OBJETIVOS

General

Determinar mediante un método de ensayo experimental realizado a morteros cementicios de reparación, la tendencia a la fisuración, contracción y adherencia.

Específicos

1. Implementar en la región un método experimental de prueba fiable para evaluar el rendimiento de los morteros de reparación, que sea de bajo costo y fácil acceso.
2. Conocer las características físicas y propiedades mecánicas de los morteros cementicios de reparación para que trabajen en conjunto con la estructura en la que son aplicados.
3. Establecer criterios para la selección de morteros en reparaciones de grietas en estructuras.

INTRODUCCIÓN

Las fisuras y grietas en las estructuras ingenieriles se presentan debido a la mala curación del concreto, el mal diseño de los miembros para soportar cargas y no prever juntas apropiadas para la contracción y dilatación. Además, por las reparaciones con morteros cementicios en las que no se consideran aspectos como la homogeneidad de los elementos, rigidez, resistencia y ductilidad de los componentes que forman parte de la estructura y el mortero cementante de reparación que será colocado en la misma, o debidas a la acción de un sismo que libere la energía a través de grietas en la estructura.

El bloque Baenziger es una losa prefabricada de concreto no reforzado, con una cavidad en su interior para colocar el mortero que será evaluado. Tiene la configuración geométrica óptima para evaluar la sensibilidad al fisuramiento de los morteros cementicios de reparación. Es el método experimental que se desarrolla para determinar las características físicas de los morteros.

En estructuras de concreto reforzado, el agrietamiento resulta en el aumento progresivo de la permeabilidad, lo cual conduce a la corrosión apresurada y el deterioro de los refuerzos en el concreto. Esto ocasiona que los elementos pierdan la capacidad de resistir los esfuerzos y momentos con los que fueron diseñados, que falle parte de la estructura y el costo de reparación se eleve o se tenga que reconstruir de nuevo el elemento. Se obtendrá datos fiables sobre las propiedades mecánicas y las características físicas de los morteros cementicios de reparación, para obtener mejores resultados de las reparaciones en las estructuras.

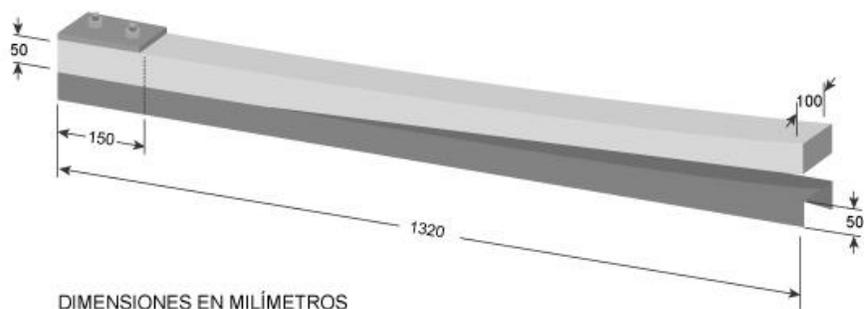
1. ANTECEDENTES GENERALES

A lo largo del tiempo se ha tratado de desarrollar métodos para determinar la tendencia a la fisuración de un material de reparación, donde se pretende que cumpla con las condiciones a las que será sometido en condiciones de trabajo reales. Los procedimientos que han sido desarrollados son comparativos y no pretenden determinar la posible formación de fisuras en un tipo específico de estructura o la ubicación de la reparación de una estructura. Los métodos son aplicables para evaluar la sensibilidad de los materiales de reparación a las fisuras.

1.1 Placa SPS (*Plate-Structural Preservation System*)

La placa de ensayo SPS se utilizó para evaluar la deformación neta debido a la contracción restringida. Consiste en un bloque de 50 mm de alto, 100 mm de base, 1 320 mm de largo (2 x 4 x 52 pulgadas) de mortero de reparación sobre una placa de acero de 1,5 mm (1/16 pulgadas). Para permitir una buena unión, las placas de acero eran ligeramente tratadas con un chorro de arena y resina epoxi, que se aplicaba antes de colocar el material. La viga se sujeta a una placa de acero de más de 150 mm (6 pulgadas) de un extremo, lo que da como resultado un voladizo libre de 1 170 mm (46 pulgadas) de largo.

Figura 1. Vista esquemática del plato SPS



Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report.*

La prueba fundamentalmente daba seguimiento a la punta de la viga con un calibrador de precisión. El ensayo comienza a las 72 horas de curado húmedo del mortero de reparación. Después de ese tiempo, el espécimen es anclado en el canal de acero en dos vástagos roscados. Se empotraba el material y una placa de acero en la parte superior. Las lecturas se hacen cada día durante la primera semana y después cada semana durante el primer mes, luego una vez al mes después hasta que la deformación ya no sea considerable.

1.2 Caja de ensayo de geometría (*Box Test Geometry*)

Para la evaluación de esta prueba eran utilizados tres tamaños diferentes de estas cajas, cuya geometría global fue revisada con base en el análisis de su rigidez. Según el criterio del encargado y el tipo de obra en la cual se necesitaría el mortero de reparación o en el elemento estructural, se determinaba el tamaño

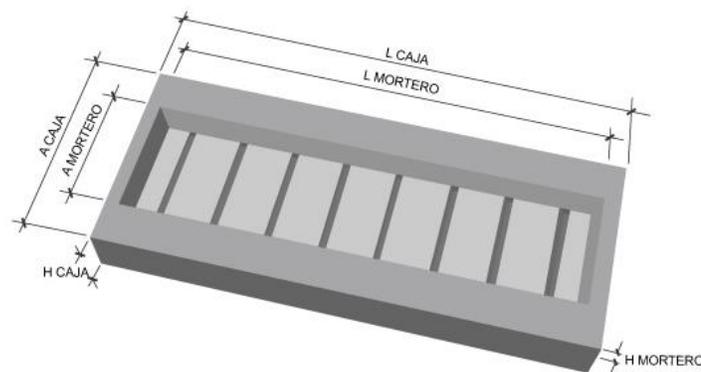
de la caja para la evaluación de los morteros. Los tamaños de las cajas se detallan a continuación:

Tabla I. **Geometría de las cajas experimentales**

Dimensiones (mm)	Tamaño de la caja		
	Pequeña	Mediana	Grande
L caja	1 000	1 500	2 000
A caja	500	625	750
H caja	175	175	175
L mortero	900	1400	1900
A mortero	300	375	450
H mortero	75	75	75
Volumen mortero (litros)	20,3	39,4	64,1

Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*

Figura 2. **Vista esquemática de la caja de ensayo de geometría**



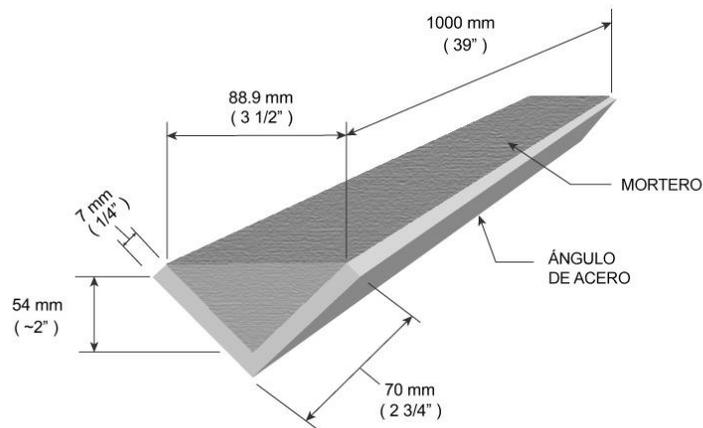
Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*

A la superficie del bloque se le aplica un ligero chorro de arena para que la adherencia entre las partes sea mejor; luego se le aplica una resina para evitar la absorción de humedad por el concreto al momento de que se le aplique el mortero. Las muestras de ensayo son colocadas en la cavidad de la caja y se almacenan para su posterior curado. Durante unos 10 meses son monitoreadas las cajas y se registra el mapa de fisuras que se crea en la superficie.

1.3 Prueba de ángulo alemán (*German angle test*)

Un angular de acero (grosor aproximadamente de 7 mm o $\frac{1}{4}$ ") se limpia inicialmente a fondo con un chorro ligero de arena; luego, un adhesivo a base de resinas sin disolventes se aplica a las superficies angulares interiores antes de depositar la muestra, para que exista una correcta unión entre las partes. Las muestras se curan en húmedo durante 72 horas y después se mantienen bajo condiciones de laboratorio. Los ejemplares son controlados por agrietamiento durante al menos 180 días.

Figura 3. Vista esquemática del ángulo alemán

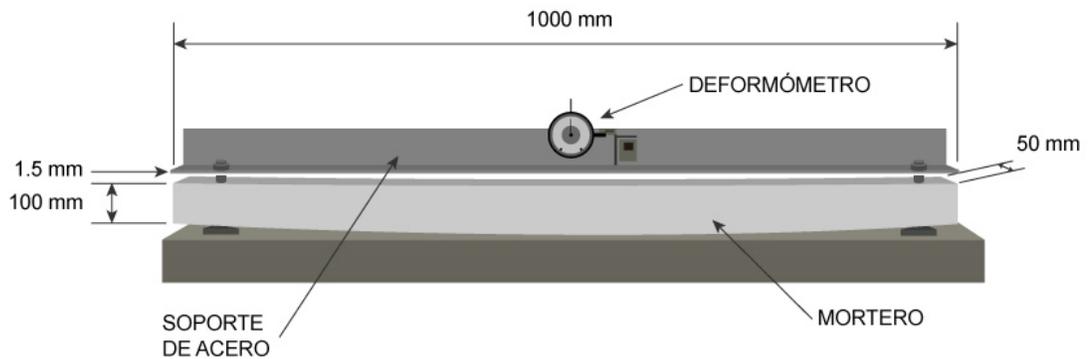


Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*

1.4 Prueba de Laval, deflexión de viga (*Laval beam deflection test*)

Esta prueba consiste en un paralelepípedo de 50 mm de base por 100 mm de altura y 1 000 mm de largo, de mortero de reparación, colocado sobre un bloque fundido con una capa de 1,5 mm de espesor de acero con recubrimiento epoxi. Todas las superficies del paralelepípedo, excepto el de arriba, se sellan con cera de parafina.

Figura 4. Vista esquemática de la prueba de Laval



Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*

El procedimiento de ensayo consiste en el control de la deflexión a la mitad del tramo. La prueba se comienza a las 72 horas de curado húmedo. Las lecturas se realizan todos los días durante una semana; luego, una vez por semana durante el primer mes, y después cada mes hasta que la deflexión sea insignificante. Esta prueba se asemeja a la metodología del Plato SPS.

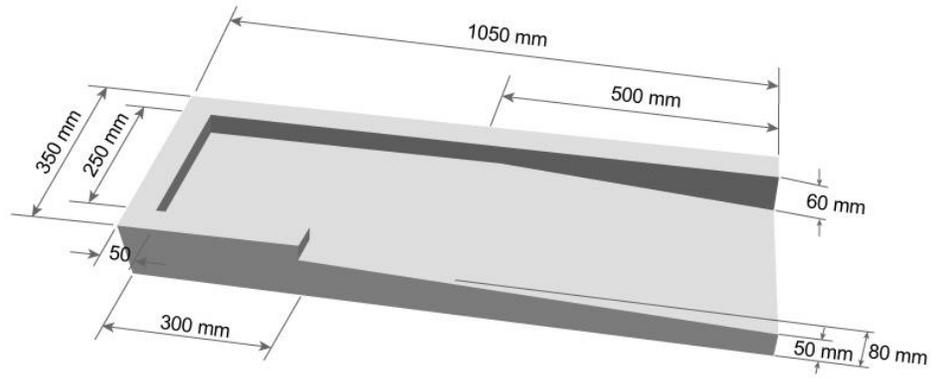
1.5 Bloque Baenziger

Es una losa prefabricada de concreto no reforzado, con una cavidad en su interior para colocar el mortero que será evaluado. El bloque tiene la configuración geométrica óptima para evaluar la sensibilidad al agrietamiento de los morteros cementicios de reparación. La Corporación Sika (*Sika Corporation*), desarrolló la prueba de bloque Baenziger en Suiza. Se utiliza para evaluar la sensibilidad de agrietamiento de los materiales de reparación.

Esta prueba consiste en una reparación de la cavidad en los 350 mm por 1 050 mm de losa de concreto prefabricado y el control de la reparación para el craqueo. La mezcla de concreto utilizado para la fabricación de los bloques Baenziger tiene una resistencia de diseño de 50 MPa (7 250 lb / pulg²).

Después de la fabricación de los bloques Baenziger, hasta que se cumpla el tiempo de las deformaciones por contracción de secado, se puede utilizar para la colocación de los morteros de reparación. La preparación de la superficie de la cavidad consta de una limpieza con un chorro de arena. Después de que el mortero de reparación se coloca en el bloque Baenziger, son expuestos a condiciones de campo junto con las losas de reparación experimentales. Los bloques son monitorizados para el craqueo durante un periodo de 5 a 10 meses, según el comportamiento del material.

Figura 5. **Vista esquemática bloque Baenziger**



Fuente: *Development of a Test Method to Evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*

2. MORTEROS CEMENTICIOS

El mortero a base de cemento es una mezcla homogénea de un material cementante (cemento), un material de relleno (agregado fino o arena), agua y, en algunas ocasiones, aditivos. “Prácticamente es concreto sin el agregado grueso; el mortero debe de contar con propiedades químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto.”¹

2.1 Tipos de morteros

Dentro de los morteros se puede distinguir dos familias:

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

En el siguiente apartado se estudia los morteros que proveen suficiente resistencia para soportar cargas a compresión, y resistan la abrasión del tipo hidráulico, ya que corresponden al grupo de los morteros de reparación, que es el tema que nos interesa en el presente documento.

¹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN. *Tecnología del mortero y del concreto*, p. 25.

2.1.1 Usos de los morteros cementicios

Los usos de los morteros de cemento que son del tipo hidráulico, se pueden agrupar en cuatro grandes categorías²:

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

2.1.2 Morteros de reparación

“La reparación es un conjunto de intervenciones, como demoliciones, saneamientos y aplicación de nuevos materiales, destinada a recuperar el estado constructivo y devolver a la unidad lesionada su funcionalidad original. Para reparar un elemento hay que conocer el proceso patológico, su origen y la evolución de la lesión.”³

Los morteros de reparación son predosificados, de granulometría estudiada para determinadas ocasiones en las que se requieran ciertos espesores de recubrimiento y/o aplicación en los elementos estructurales. Para su fabricación se toma en cuenta aspectos como la homogeneidad de los elementos, rigidez,

² ASTM. *Standard specification for standard sand ASTM C778*, p. 45.

³ ENCICLOPEDIA BROTO, *Patologías de la construcción 2006*, p. 36.

resistencia y adherencia que presentarán al momento de formar parte de la estructura.

Los morteros de reparación deben cumplir unos requisitos esenciales, que se pueden resumir en:

- Parámetros de resistencia adecuados
- Buena adherencia al soporte
- Baja retracción
- Buena respuesta a las condiciones específicas del entorno
- Módulo elástico y coeficiente de dilatación compatibles con el material base

2.1.2.1 Mortero de reparación hidráulico

Consiste en un mortero predosificado monocomponente, que presenta altas resistencias a compresión y tracción, así como adherencias importantes sobre los elementos estructurales por regenerar. “Su módulo de elasticidad es del mismo orden de magnitud que el concreto sobre el que se aplica, lo que permite su colocación en zonas de la estructura expuestas a carga. Además, colabora en la absorción de tracciones y compresiones de forma análoga al resto de la estructura.”⁴

La preparación de estos morteros es por adición de agua; este punto es de especial importancia, ya que precisan cantidades mínimas de líquido. De no adicionar las cantidades adecuadas, mermarán las capacidades mecánicas y

⁴ CONSTRUMÁTICA. *Morteros de reparación*. <https://www.construmatica.com/>

resistencias químicas. Su objetivo no se centra específicamente en la mejora de resistencias, sino en facilitar su aplicación, fraguado, endurecimiento y características físico-químicas tales como:

- Plasticidad
- Compensación de retracciones
- Catalización de procesos de fraguado y endurecimiento
- Tixotropía/fluidez
- Durabilidad química

2.1.2.2 Mortero de reparación hidráulico modificado con polímeros

De acuerdo con las premisas descritas se predosifican los morteros cementosos y se complementan con un porcentaje de resinas acrílicas re-dispersables, látex líquido o emulsión epoxídica en sustitución de parte del agua de amasado.

Las cualidades de dichos productos, en comparación con el supuesto anterior, aportan una mejora de adherencias y tolerancias a las tracciones. En muchas ocasiones se puede obviar la aplicación de adhesivos sobre el soporte porque los morteros cumplen esta función de adherencia entre partes, pero en contrapartida, desciende el módulo de elasticidad del mortero endurecido. Por tanto, su “colaboración” en la absorción de las cargas axiales y tracciones es menor que en el caso de los morteros estrictamente cementosos, lo que deriva en un ligero descenso en la resistencia final a compresión.

Este tipo de morteros se suministran por lo general en forma de bicomponentes, por lo que la mezcla puede ser controlada en la aplicación en campo. Asimismo, se puede encontrar fabricados con resinas en polvo, redispersables en presencia de agua, con lo que la propia resina forma parte del mortero ensacado y se reactiva con el agua de amasado.

2.1.2.3 Mortero de reparación polimérico

Por lo general está fabricado a partir de resinas epoxídicas; sus cualidades mecánicas, así como su durabilidad química, son excelentes. Su aplicación se limita habitualmente a regeneraciones de mínimo espesor, donde no son de aplicación los morteros convencionales. También se utilizan en reparaciones puntuales de pequeño tamaño (la retracción de dichos productos en grandes volúmenes es importante, lo que puede originar importantes pérdidas de sus propiedades mecánicas, físicas y químicas).

Su mayor inconveniente es su bajo módulo de elasticidad, por lo que, al ser más deformable que el soporte ante una acción de carga, su contribución resistente es menor que la de la base sobre la que se aplica.

2.2 Propiedades de los morteros cementicios

El estudio de las propiedades de los morteros cuyo componente principal es el cemento tipo *Portland*, puede ser considerado como medidas de control de calidad. Para este estudio tomaremos en cuenta propiedades en estado plástico y en estado endurecido.

2.2.1 Propiedades en estado plástico

El estado de los morteros que se considera como plástico; es aplicado cuando durante un lapso conservan propiedades de elasticidad y flexibilidad que permite moldearlos, adaptarlos y aplicarlos de distintas formas acorde al trabajo que se esté llevando a cabo.

Figura 6. Mezcla de mortero de reparación, inicio del estado plástico



Fuente: elaboración propia.

2.2.1.1 Endurecimiento a través del tiempo

Los tiempos de fraguado (paso del estado plástico al sólido) inicial y final del mortero deben estar entre límites adecuados. Sin embargo, estos dependen de diversos factores como las condiciones del clima, la composición de la mezcla o la mano de obra. Hoy son fácilmente controlables con el uso de aditivos.

La norma ASTM C-403 (*Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance* o método de ensayo estándar para el tiempo de fraguado de mezclas de concreto por la resistencia a la penetración), da un método de ensayo para evaluar este parámetro.

2.2.1.2 Trabajabilidad

Forma en la que se verifica cuánto trabajo lleva la colocación de la mezcla en el lugar que se requiere; está relacionada con la plasticidad, adhesión, cohesión y consistencia.

Se refiere al estado de fluidez del mortero; es decir, cuán seca o fluida es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico. La norma a continuación nos da una clara referencia del ensayo de esta propiedad, ASTM C-230 o *Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement*, (Especificación estándar de la mesa de flujo para el uso en ensayos de cemento hidráulico).

2.2.1.3 Retención de agua

Propiedad del mortero en la que mantiene su plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como una unidad de mampostería o concreto existente.

La retención de agua incide en la velocidad de endurecimiento y la resistencia a compresión del mortero, ya que afecta la hidratación del cemento.

2.2.2 Propiedades en estado endurecido

La resistencia mecánica de los morteros endurecidos es la propiedad del material que notablemente resulta más obvia en cuanto a los requisitos para usos estructurales. La resistencia de un mortero a base de cemento depende de la cohesión de la pasta, de su adhesión a las partículas de los agregados y, en cierto grado, de la resistencia del agregado mismo.

Figura 7. **Especímenes cúbicos de morteros de reparación endurecidos**



Fuente: elaboración propia.

2.2.2.1 Resistencia a la compresión

Los morteros cementicios de reparación deben alcanzar una alta resistencia a la compresión una vez aplicados y endurecidos. Debe actuar como unión resistente, como uno con el elemento estructural aplicado o ser buen transmisor de cargas axiales aplicadas a la estructura.

La norma NTG 41003 h4 o Método de ensayo: determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado da una idea clara de las bases para la aplicación de un método de ensayo en este tipo de morteros.

2.2.2.2 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción o tensión que un mortero puede soportar es la que se puede deducir como la capacidad del material que, mientras se estira o se tira, vuelve a su estado original sin deformarse o presentar fisuras. La resistencia a la tracción es lo contrario a la resistencia a la compresión y los valores pueden ser muy diferentes.

La prueba de tracción directa solía aplicarse comúnmente, pero la tracción pura es difícil de aplicar. Los resultados mostraban variaciones relativamente grandes, por lo que las pruebas de tracción han dado paso gradualmente a las de compresión.

Sin embargo, las pruebas de tracción se han mantenido en la norma *Portland cement (ordinary and rapid-hardening) (British standard 12:1958)*, Cemento Portland (ordinario y de endurecimiento rápido) (norma británica 12:1958), como un criterio para la base de un procedimiento que permite evaluar la resistencia de los morteros a base de cemento.

2.2.2.3 Retracción

Es la pérdida de volumen de los morteros a base de cemento hidráulico. Se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación de la pasta, sobre todo en aquellas con una alta relación agua cemento.

En condiciones donde el lugar de aplicación tiene temperaturas altas o lugares donde corre mucho viento, el agua de mezclado tiende a evaporarse y produce tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de grietas y fisuras visibles.

“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.”⁵

2.2.2.4 Adherencia

Es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que lo une con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas. Le da resistencia a la estructura.

La adherencia afecta en gran forma la permeabilidad y la resistencia a la flexión.⁶

2.2.2.5 Permeabilidad

Es la característica de dejar filtrar ya sea aire o agua. El mortero debe dejar el paso del vapor a través de la estructura capilar del material, ya que esto favorece su transpiración e impide la aparición de condensaciones en el interior, por causas higrotérmicas.

⁵ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, DIEGO. *Tecnología del concreto y del mortero*. 349 p.

2.2.2.6 Durabilidad

Es la resistencia a las condiciones físico-químicas y mecánicas del mortero a los agentes externos, como el desgaste de la superficie por abrasión, agentes corrosivos, cambios bruscos en la temperatura, eflorescencias. Los morteros de alta resistencia a la compresión tienen un aumento considerable en su durabilidad.

3. PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

La palabra patología se origina del griego. Sus raíces son *phatos* (enfermedad) y *logos* (estudio). Se traduce como el estudio de las enfermedades, ya que hace referencia a una ciencia y no en específico al nombre de las enfermedades.

Por extensión, la patología constructiva es la ciencia que estudia los problemas constructivos, proceso y sus soluciones. Son problemas que suelen aparecer en las edificaciones, elementos estructurales o en alguna de sus unidades, durante o luego de que se ha finalizado su construcción.

3.1 Lesiones

Para solucionar un problema constructivo se debe conocer bien su proceso, qué lo originó, cómo evolucionará a través del tiempo y su estado actual. Cuando se analiza lo mencionado se conforma un estudio del proceso patológico. Conviene realizar primero una observación del resultado de una lesión; luego el síntoma, hasta llegar al origen o las causas que lo provocaron. Esto permitirá establecer una estrategia para la reparación o tener una idea de la prevención.

Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo; es decir, el síntoma final del proceso patológico. Es indispensable conocer los diferentes tipos de lesiones, ya que de su correcta identificación depende la elección del tratamiento, lo que se toma en consideración en el siguiente apartado.

3.1.1 Tipos de lesiones

Se pueden dividir en tres grandes secciones en función del carácter y la tipología del proceso patológico:

- Lesiones físicas
- Lesiones mecánicas
- Lesiones químicas

3.1.1.1 Lesiones físicas

Son las que surgen debido a la problemática patológica causada por fenómenos físicos como cambios bruscos en temperatura, condensaciones, humedad, precipitación pluvial, vientos fuertes, radiación solar, entre otros.

- Humedad

Es cuando existe un porcentaje mayor de agua al considerado como normal en un material para la construcción o en un elemento constructivo.

Esta puede ser debido a diversas causas como que en el proceso no se ha propiciado una buena evaporación, o por el agua procedente del suelo que asciende a unidades constructivas (capilaridad); a la humedad que se filtra y penetra dentro de los elementos constructivos desde fuentes externas.

Otra posible causa puede ser por roturas de vías que conducen líquidos y estos llegan a filtrarse en las unidades constructivas (humedad accidental), entre otros casos.

- Erosión

Es la pérdida o el cambio físico de la superficie de un material. Puede ser causada por la acción física de los agentes atmosféricos o por la meteorización de los materiales.

- Suciedad

Cuando las partículas se depositan sobre la superficie cubierta o llegan a penetrar los materiales de las construcciones (ya sea por la acción gravitatoria, por vientos que arrastran partículas o por partículas que penetran en el poro superficial del material por la acción del agua de lluvia) se produce un mal aspecto visible y el deterioro prematuro de las construcciones.

3.1.1.2 Lesiones mecánicas

Son en las que predominan los factores mecánicos propios del funcionamiento de los elementos estructurales y sus materiales. Provoca movimientos, desgaste, aberturas, al momento de presentarse los esfuerzos de compresión, tensión, flexión, corte o torsión.

- Deformaciones

Son las variaciones en las conformaciones geométricas de los materiales y elementos estructurales. Es consecuencia de los esfuerzos mecánicos producidos en la ejecución de una unidad o posteriormente, cuando se le aplican cargas. Aparece en forma de pandeos, alabeos, flechas o desplomes.

- Desprendimientos

Cuando por falta de adherencia se separa un material acabado del soporte al que está aplicado, se produce un desprendimiento, que suele ocurrir como consecuencia de otras lesiones previas.

- Erosiones mecánicas

Desgaste de las superficies de los materiales debidas a esfuerzos mecánicos, rozaduras o fricciones entre elementos estructurales o constructivos.

3.1.1.3 Lesiones químicas

Son debidas a procesos patológicos de carácter químico. Se originan por la presencia de sales o ácidos, principalmente, u otros químicos que reaccionan al provocar descomposiciones que afectan la integridad del material y reducen su durabilidad. Este tipo de lesiones se puede agrupar en los siguientes apartados:

- Eflorescencias

Sucede cuando los materiales contienen sales solubles y éstas son arrastradas por el agua hacia el exterior de los materiales por evaporación. Una vez en la superficie se cristalizan y el agua se seca, lo que deja visibles las sales como polvillos blanquizcos que dan mal aspecto a la unidad constructiva; suelen presentarse por lo regular como causa directa de aparición de humedad.

- Corrosiones

“Conjunto de transformaciones moleculares que tiene como consecuencia la pérdida de material en la superficie de metales como el hierro y el acero. La corrosión de un metal es un proceso electroquímico que requiere un agente oxidante, humedad y flujo de electrones dentro del metal; se producen una serie de reacciones químicas en la superficie del metal y cerca de la misma.”⁷

- Oxidación

Es la transformación de metales al óxido al entrar en contacto con el oxígeno. La superficie del metal puro o en aleación tiende a transformarse en óxido que es químicamente más estable. De esta manera se protege el resto del metal de la acción del oxígeno.

- Erosiones

Su origen son las reacciones químicas de los componentes en los materiales con otras sustancias. Produce transformaciones moleculares en la superficie de los materiales pétreos.

- Organismos

Cuando algún elemento de la fauna o flora entra en contacto permanente o prolongado con la superficie de los materiales o elementos constructivos, inicia

⁷ ACI 201.2R. *Guide to Durable Concrete*, p 17.

un proceso un proceso patológico químico, debido a las sustancias que alteran la estructura química del material. Los ataques químicos generan cambios en el color, olor y aspecto de la unidad constructiva.

3.1.2 Fisuras

Las fisuras son aberturas con muy poca separación entre sus bordes, de acuerdo al momento en que se manifiestan, pueden originarse en la etapa donde los morteros se encuentran en estado plástico (antes de finalizar el fraguado); durante la etapa de endurecimiento o cuando los morteros ya se encuentran sometidos a los esfuerzos de servicio. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar el inicio de fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Son las que darán origen a una grieta.

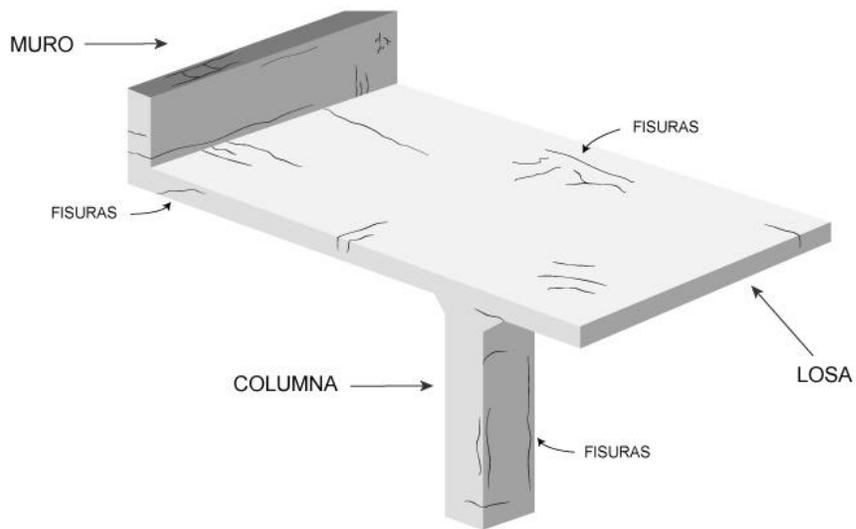
Según su movilidad, las fisuras se suelen dividir en:

- Fisuras muertas. Sus dimensiones no varían a lo largo del tiempo y su único problema es su aspecto estético y la sensación de poca seguridad en la obra.
- Fisuras vivas. Su anchura aumenta o disminuye con el paso del tiempo o debido al uso de la edificación, por lo que es indispensable remediarlas.

En los procesos de fisuración se puede mencionar dos etapas: una microfisuración (que es en la parte inicial) que tiene un grosor inferior a los 0,03 mm, las cuales no pueden ser evaluadas a simple vista, y una macrofisuración. que son éstas las que podemos evaluar y estudiar su causa de origen, para ser

considerada como fisura se suele decir que el ancho de la abertura no sobrepasa el 0,9 mm de grosor, por lo que, son las que se mencionan en el siguiente apartado.

Figura 8. **Distintos tipos de fisuras en una estructura**



Fuente: elaboración propia.

3.1.2.1 **Clasificación de las fisuras de acuerdo a su origen y momento de aparición**

- Fisuras originadas en estado plástico

Generalmente son originadas por la contracción plástica o comúnmente conocida como retracción hidráulica durante el fraguado, siendo las principales apariciones en las losas y pisos, la mayoría de veces tienen profundidades

considerables y no siguen un mismo patrón o simetría. Pudiendo generarse por las siguientes causas:

- Retracción hidráulica durante el fraguado

Este fenómeno ocurre cuando el concreto contrae su volumen durante los procesos de fraguado. La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina del agua en el concreto; independientemente del agua absorbida por los agregados, el agua de la mezcla comienza a dividirse en cinco estados diferentes:

- “El agua de reacción, combinación química o de cristalización.
- El agua de gel o pasta.
- El agua intercristalina.
- Agua absorbida, que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento que une los granos de agregados.
- El agua capilar o libre.”⁸

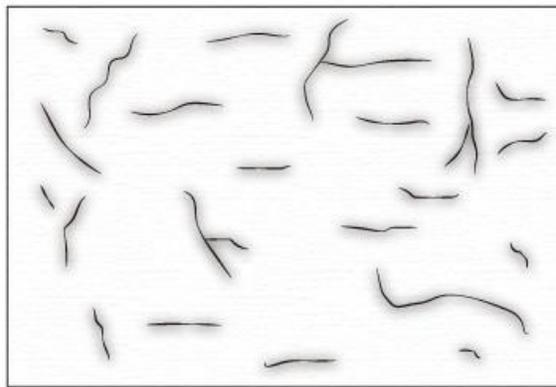
Cuando la mezcla del mortero no está en un ambiente permanentemente húmedo, el agua se evapora progresivamente desde la misma fase plástica y produce cambios de volumen originado por una contracción de meniscos, que obliga a que los granos de agregados se aproximen entre sí. Cuando el hormigón no es capaz de resistir esta deformación, se rompe a causa de la tensión por tracción y aparece la fisura. Tiene las siguientes características:

- Profundidades alrededor de los 8 a 35 mm.
- Aparecen en las primeras horas de fraguado (1 – 12 horas).

⁸ TOIRAC CORRAL. *Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón origen y prevención*, p. 80.

- Se originan en condiciones en las que se propicia una rápida evaporación, temperaturas altas, vientos y humedad.
- Las fisuras no atraviesan los agregados, sino que los rodean.
- No presentan un peligro estructural.
- Los nidos de fisuras se deben principalmente a procedimientos incorrectos de compactación y terminación.

Figura 9. **Fisuras por retracción durante el fraguado**



PLANTA - LOSA DE CONCRETO

Fuente: elaboración propia.

- Exceso de vibración

Si vibra demasiado el mortero ya colocado en sitio, solo se logrará que los agregados se asienten en la parte baja y los componentes más livianos se posicionen en la parte superior. Los componentes se separarán, lo que ocasionará una disminución en sus propiedades esenciales.

- Exceso de llana (acabado superficial)

Fisuras ocasionadas por el excesivo roce entre la llana y la superficie del mortero, quitando humedad del área provocando posteriormente la aparición de fisuras.

- Fisuras originadas por asentamiento plástico

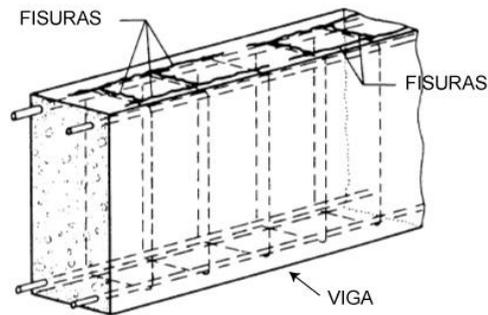
Durante esta etapa el mortero no ha endurecido por completo y se forma por lo general cuando ha sido colocado en el molde; en este momento, los sólidos de la mezcla tienden a asentarse por efecto de la gravedad y desplazan los elementos menos densos como el agua y el aire. Aparecen en la superficie como agua de exudación (acción del agua que asciende hacia la superficie superior del mortero al poco tiempo de su amasado).

El asentamiento continúa hasta que el mortero endurece, por lo que se desglosan algunas de las causas que lo pueden originar:

- Asentamientos diferenciales

Los asentamientos diferenciales ocurren debido a los obstáculos como acero de refuerzo o grava de gran tamaño embebidos dentro del área por reparar por el mortero, que interfieren en el libre acomodamiento de la mezcla.

Figura 10. **Fisuración por asentamiento plástico**

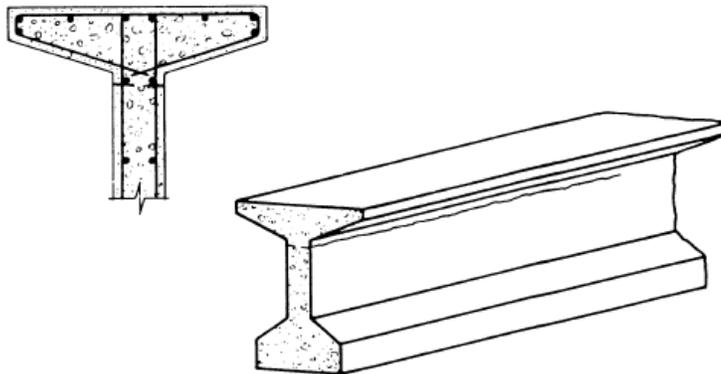


Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.1.6

- Poco recubrimiento y excesivos diámetros de acero

Cuando el refuerzo superficial tiene poco recubrimiento, el diámetro de la varilla es mayor y se producen fisuras debido a estas combinaciones en la parte superficial o laterales de los elementos constructivos.

Figura 11. **Fisuras por poco recubrimiento**



Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.24.1

- Fisuras causadas por retracción autógena

“La retracción autógena se diferencia de las otras porque no es atribuible a pérdida de agua, sino que a la reducción de volumen que experimenta al combinarse químicamente con el cemento. Esta reducción, si no hay aportes de agua externos que permitan compensarla, da origen a poros de vacío en la masa del hormigón y, en consecuencia, a fuerzas capilares capaces de generar retracción.”⁹

- Fisuras originadas en el estado endurecido

En los primeros días de terminado el fraguado del concreto se presenta muy baja resistencia, principalmente a tensión; por tanto, es susceptible a agrietarse. Los cambios de volumen están definidos por incrementos o decrementos causados por dilataciones y contracciones por los cambios de temperatura y la humedad. Se puede originar por las siguientes causas:

- Fisuras ocasionadas por movimiento espontáneo

Son las ocasionadas por la finalización del fraguado del concreto, cuando algunas partes han adquirido —por la hidratación las propiedades— un sólido rígido. En otras predominan las de estado plástico, por lo que se generan movimientos que provocan fisuras en la superficie del concreto.

⁹ GIANI, R.; NAVARRETE, B.; BUSTOS, J. *La retracción autógena y su relación con la tendencia a la fisuración a temprana edad en pavimentos de hormigón*, p. 15.

- Contracción por secado

En condiciones ambientales normales, el concreto después de fraguado sigue expuesto a la pérdida de agua por efecto de la evaporación. Con el tiempo, esta reducción paulatina de agua es motivo de que se contraiga el concreto gradualmente a medida que endurece. Este proceso es conocido como retracción hidráulica en estado endurecido o contracción por secado.

Es más fácil extraer el agua por evaporación en el estado endurecido del concreto. Por tal razón, la contracción por secado constituye uno de los cambios de volumen más importantes y difíciles de prevenir.

Hay casos que son pocos comunes en donde se originan fisuras de retracción interna de la pasta de cemento, cuando los concretos son muy masivos, ricos en pasta y con agregados de gran tamaño.

- Contracción por carbonatación

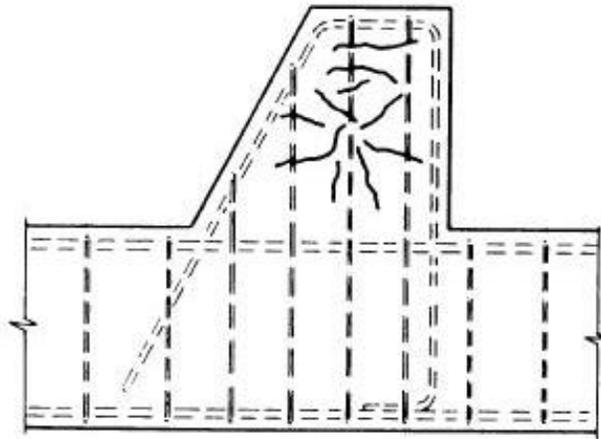
Suele aparecer en ambientes donde la presencia de dióxido de carbono es abundante, como cerca de un estacionamiento concurrido de vehículos, por ejemplo, que reacciona con los diversos químicos esenciales en la hidratación del cemento, y provoca fisuras en el mismo.

El acero de las armaduras del hormigón generalmente no se corroe, ya que en el ambiente altamente alcalino se forma un recubrimiento de óxido protector, fuertemente adherido al acero. Esto se conoce como protección pasiva. Sin embargo, el acero de las armaduras se puede corroer si la alcalinidad del hormigón se reduce por carbonatación.

La corrosión del acero produce óxidos e hidróxidos de hierro, cuyo volumen es mucho mayor que el del hierro metálico original.

“Este aumento de volumen provoca tensiones radiales de estallido alrededor de las barras de armadura, y la consiguiente aparición de fisuras radiales localizadas.”¹⁰

Figura 12. **Fisuras por corrosión de armaduras**



Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.18.2

- Retracción térmica

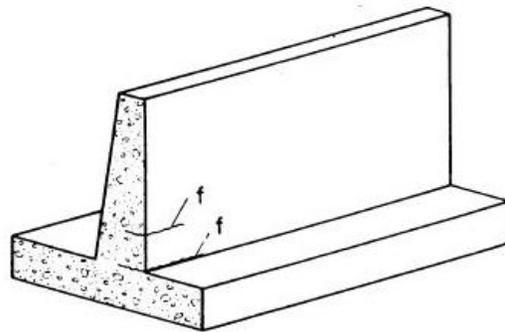
Es la originada por las tensiones locales producidas por las diferencias térmicas entre el concreto y el medio ambiente.

¹⁰ ACI 224.1R-93. *Causas, evaluación y reparación de fisuras*, p. 16.

La fisuración ocurre en el instante en que el valor de retracción sea igual a la relación entre la tensión de rotura del material a tracción y su módulo de deformación.

“Las tensiones de tracción son proporcionales al diferencial de temperatura, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad efectivo (reducido por la fluencia lenta) y el grado de restricción.”¹¹

Figura 13. **Fisuras en muro de contención por contracción térmica inicial**



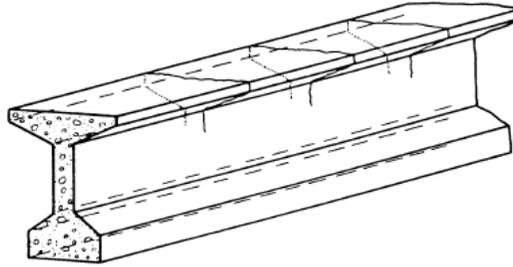
Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.3.2

- Dilatación térmica

Es lo contrario a la contracción. Se debe al aumento de volumen que sufre el cuerpo físico debido a los cambios en la temperatura. Las fisuraciones se producirán cuando el valor de dilatación sea igual a la relación entre la tensión de rotura del material a compresión y su módulo de deformación. Son causadas por la expansión del concreto debido a las diferencias térmicas entre el concreto y el medio ambiente.

¹¹ DUSINBERRE, D.M. *Numerical Methods for Transient Heat Flow*, p. 703.

Figura 14. **Fisuración por dilatación térmica**

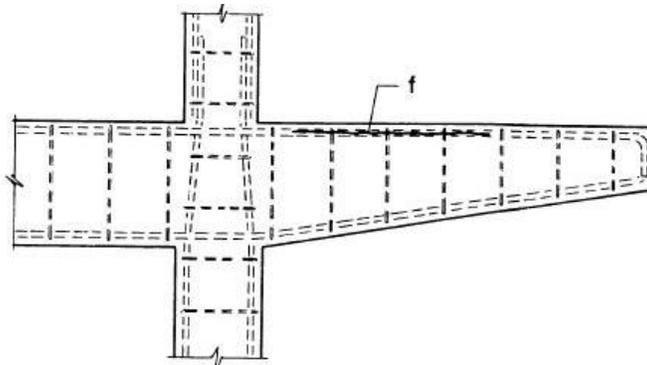


Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.24.4

- Otros tipos de fisuras
 - Fallo de adherencia – anclaje

Se produce cuando las varillas de acero se deslizan dentro del mortero y se pierde la eficacia del elemento estructural. Este tipo de fisura puede ser indicativo de una inminente y súbita rotura, ya que el acero (encargado de sobrellevar los esfuerzos de tensión), cuando hay fallo de adherencia no cumple su función, la cual asume el mortero. Al momento de fallar sería de manera súbita, ya que el mortero es un elemento rígido.

Figura 15. **Fisuración adherencia en voladizo**

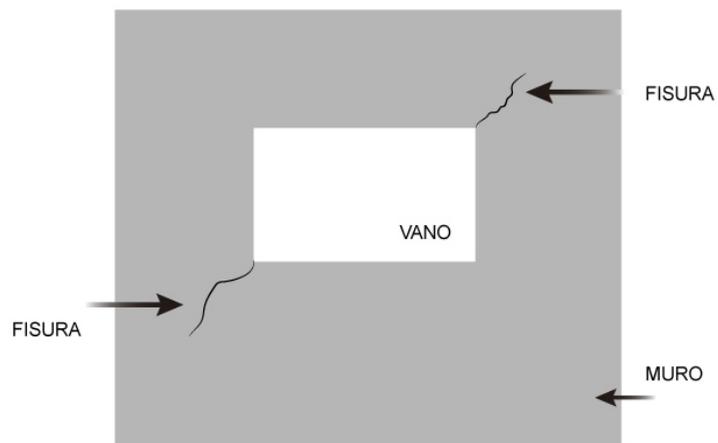


Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.14.1

- Concentración de tensiones

Son fisuras que suelen aparecer en las esquinas de paredes de carga donde los esfuerzos de tracción no son soportados por el acero o en fundiciones de pavimentos donde no se prevé refuerzos de acero en las esquinas perpendiculares a las posibles apariciones de fisuras.

Figura 16. **Fisuras debido a concentraciones de tensiones en esquinas de vanos**



Fuente: elaboración propia.

- Desplazamientos de armaduras principales

Ocurre donde el diseño no aprovecha el funcionamiento del acero para sobrellevar las cargas de tensión, como, por ejemplo, en los cambios de secciones, en armaduras con cierto grado de inclinación, en voladizos, donde el recubrimiento es amplio por parte del concreto y tiende a fisurarse.

3.1.3 Grietas

Las grietas son roturas en la masa del concreto o material de construcción. Ocurren como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente. La mayoría de veces, las fisuras se convierten en grietas cuando el problema patológico que las originó (como ejemplo, esfuerzos que sobrepasan la resistencia de la estructura) no se trata y las fisuras están trabajando (fisuras vivas). Estas se siguen abriendo hasta alcanzar la mayor parte de la sección del elemento o todo su espesor y se convierten en grietas.

Se suele manejar un estimado de grosor para que una abertura en el concreto sea considerada como grieta: es a partir de los 1,0 mm hasta los 5,00 mm (después ya es considerado como una fractura). Aunque manejar números en grietas y fisuras es un método ambiguo, varía mucho dependiendo del espesor de la misma y de lo que represente en la estructura.

Hay diversos tipos, unas muy volumétricas, masivas, o cumplen funciones especiales. Es un dato que se puede tomar como referencia para determinar cuándo es y cuándo no es grieta.

3.1.3.1 Grietas producidas por cargas que originan esfuerzos

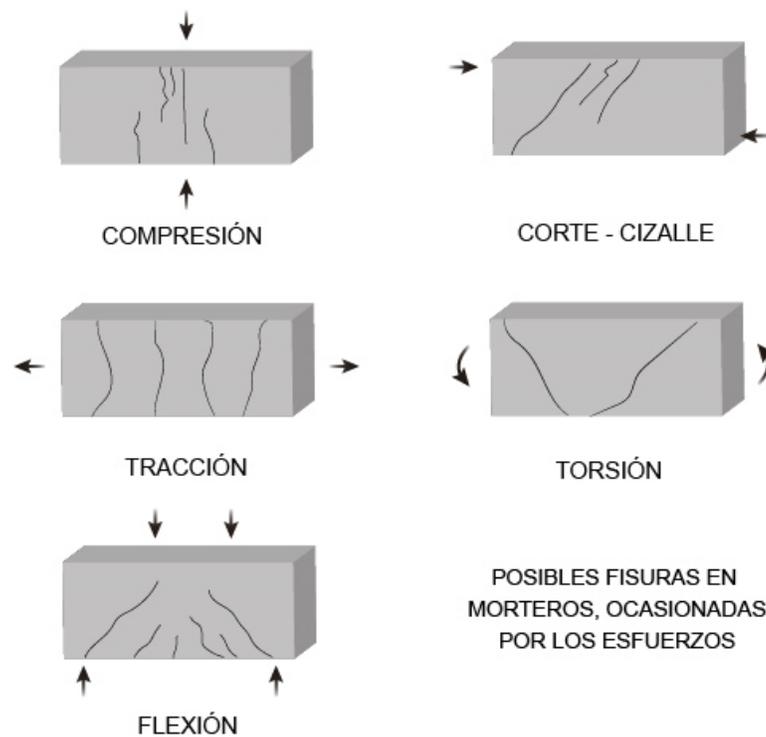
Son debidas a las combinaciones de esfuerzos a la que la estructura se ve sometida durante su funcionamiento.

Puede ser que se haya tenido un mal diseño estructural (combinaciones de cargas, reacciones en apoyos, dimensiones de elementos estructurales y

refuerzos), mala ejecución del proyecto, materiales inadecuados o que no se haya previsto cargas sobre la misma que provoquen grietas.

Son muestras elocuentes de los siguientes esfuerzos o en la combinación de los mismos:

Figura 17. **Grietas provocadas por esfuerzos y asentamientos más comunes**



Fuente: elaboración propia.

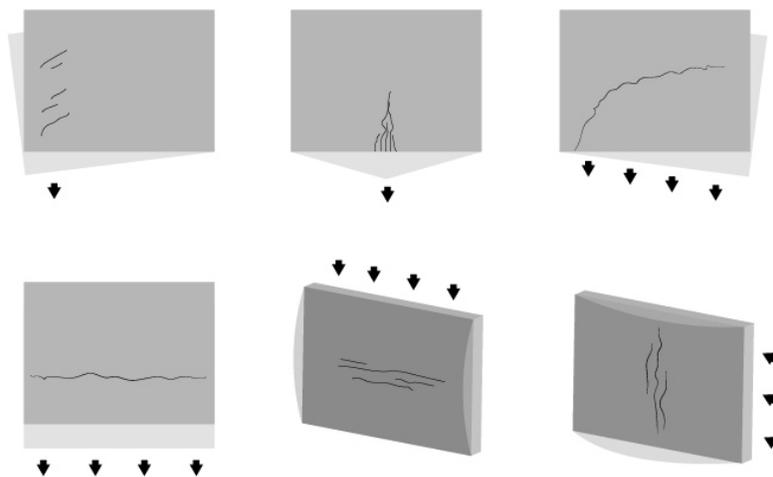
3.1.3.2 Por dilataciones y contracciones higrotérmicas

Grietas que aparecen en elementos de cerramiento de fachada o de cubierta, o elementos estructurales cuando no se prevé juntas de dilatación.

3.1.3.3 Asentamientos diferenciales en fundiciones

Suelen aparecer las fisuras principalmente en las que son aporricadas y en terrenos mal compactados. Lo que ocurre es que el terreno sustentado en las cimentaciones cede y en los soportes contiguos no lo hacen. Las grietas se producen por asentamiento diferencial.

Figura 18. **Grietas por asentamientos y empujes más comunes**



ASENTAMIENTOS Y EMPUJES MÁS COMUNES QUE PUEDEN OCASIONAR GRIETAS EN ESTRUCTURA

Fuente: Atlas de patologías – fisuras A.20.2

3.1.3.4 Evaluación de la fisuración

Antes de reparar las fisuras del concreto, es importante identificar primero su ubicación y extensión. Se debe determinar si las fisuras observadas indican problemas estructurales actuales o futuros, considerando las condiciones actuales y las condiciones de carga anticipadas para el futuro. Previo a especificar las reparaciones se debe establecer las causas de la fisuración.

La ubicación y magnitud de la fisuración, así como el estado general del concreto de una estructura, se pueden determinar mediante observaciones directas e indirectas, ensayos no destructivos y destructivos, así como ensayos de testigos extraídos de la estructura.

- Observación directa e indirecta

El ancho de las fisuras se puede medir con una precisión de alrededor de 0,025 mm por medio de un comparador, que es un pequeño microscopio de mano con una escala en el lente más próximo a la superficie observada. También las superficies del concreto se pueden estimar con una regla de fisuras o un fisurómetro manual, que es una tarjeta con líneas claramente marcadas, cada una de un ancho especificado.

Las condiciones internas en la ubicación de una fisura específica se pueden observar con endoscopios flexibles o boroscopios rígidos.

Figura 19. **Regla de fisuras o fisurómetro manual**



Fuente: elaboración propia.

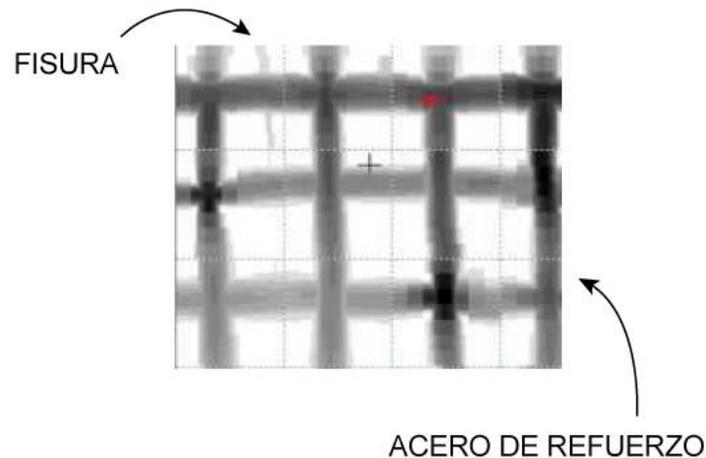
- Ensayos no destructivos

Se puede realizar ensayos no destructivos para determinar la presencia de fisuras y vacíos internos y la profundidad de penetración de las fisuras visibles en la superficie.

Golpear la superficie con un martillo o usar una cadena de arrastre son técnicas sencillas que permiten identificar la fisuración laminar próxima a la superficie. Un sonido hueco indica la presencia de una o más fisuras debajo de la superficie y paralelas a la misma.

La presencia de armaduras se puede determinar usando un pacómetro, cuya capacidad va desde la mera indicación de la presencia de acero hasta aquellos que se pueden calibrar y le permiten al usuario experimentado determinar la profundidad y el tamaño de las barras de armadura. También se puede usar radiografías (rayos X) para detectar las discontinuidades internas, así como equipos de rayos gama.

Figura 20. **Radiografía de concreto**



Fuente: Elementa BDL, Radiografía de un cabezal de muro.

- **Ensayos en testigos de concreto**

Los testigos y sus perforaciones ofrecen la oportunidad de medir con precisión el ancho y la profundidad de las fisuras. Un análisis petrográfico del hormigón fisurado permite identificar las causas materiales de la fisuración, tales como reactividades alcalinas, daño por ciclos de congelamiento, fisuración de borde, presencia de partículas de agregado expansivas, daños relacionados con incendios, retracción y contracción.

3.1.3.5 Métodos de reparación de fisuras

Cuando se evalúa la estructura fisurada se puede seleccionar un procedimiento de reparación adecuado. Para que sea exitoso debe tener en cuenta la causa o las causas de la fisuración. Por ejemplo, si se produjo principalmente por retracción por secado, es probable que luego de un tiempo la fisura se estabilice. Por el contrario, si las fisuras se deben a un proceso de

asentamiento de las fundaciones que aún continúa, las reparaciones serán inútiles hasta que se corrija el problema del asentamiento.

- Inyección de resinas epoxi

Mediante la inyección de resinas epoxi se puede adherir fisuras de muy poca abertura, hasta 0,05 mm. La técnica generalmente consiste en establecer bocas de entrada y venteo a intervalos poco espaciados a lo largo de las fisuras; sellar las fisuras en las superficies expuestas e inyectar la resina epoxi a presión.

Los materiales epoxídicos utilizados para efectuar reparaciones estructurales deberían satisfacer los requisitos de ASTM C 881 (tipo IV). El documento ACI 504R describe prácticas para sellar juntas, incluye el diseño de las mismas, materiales disponibles y métodos de aplicación.

- Perfilado y sellado

El perfilado y sellado de fisuras se puede aplicar en condiciones que requieren una reparación inmediata y cuando no es necesario efectuar una reparación estructural. Este método consiste en agrandar la fisura a lo largo de su cara expuesta, y llenarla y sellarla con un sellador adecuado.

Los selladores pueden ser de diferentes materiales, como resinas epoxi, uretanos, siliconas, polisulfuros, materiales asfálticos o morteros de polímero. Se debería evitar los morteros cementicios por su potencial de fisuración.

El procedimiento consiste en preparar en la superficie una ranura de profundidad variable, generalmente entre 6 a 25 mm. Se puede usar una sierra para concreto, herramientas manuales o neumáticas. Luego, la ranura se limpia

con un chorro de aire, arena o agua a presión, y se seca. Se coloca un sellador en la ranura y se permite su curado.

- Costura de fisuras

Coser una fisura consiste en perforar orificios a ambos lados de la misma, insertar unidades metálicas en forma de U de patas cortas (grapas o bridas de costura) y asegurarlas con mortero. Se puede utilizar costuras cuando es necesario restablecer resistencia a la tracción en fisuras importantes.

“Al coser una fisura la estructura tiende a volverse más rígida, y esta rigidez puede aumentar la restricción global de la estructura y provocar fisuración en otras partes del hormigón.”¹² Por lo tanto, puede ser necesario reforzar la sección o las secciones adyacentes. Debido a que la concentración de tensiones es frecuente, puede ser necesario emplear este método conjuntamente con otros.

- Llenado por gravedad

“Se puede usar monómeros y resinas de baja viscosidad para sellar fisuras con anchos superficiales de entre 0,03 a 2 mm, y aplicarlos por el método del llenado por gravedad.”¹³ También se ha utilizado exitosamente los metacrilatos de alto peso molecular, uretanos y algunas resinas epoxi de baja viscosidad. Cuanto menor sea la viscosidad, más finas serán las fisuras que se pueden llenar.

¹² HOSKINS, B.E.; FOWLER, D.W. Y MCCULLOUGH, B.F. *An Evaluation of Repair Techniques Used for Uncontrolled Longitudinal Cracking and Failed Longitudinal Joints*, 21 p.

¹³ RODLER, DJ.; D.P. WHITNEY; D.W. FOWLER Y D.L. WHEAT. *Polymers in Concrete: Advances and Applications*, p. 116.

- Llenado con mortero a base de cemento portland

Las fisuras anchas, particularmente en presas de gravedad y muros de concreto de gran espesor, se pueden reparar llenándolas con mortero de cemento portland. Este método es efectivo para detener las fugas de agua, pero no para unir los elementos estructurales o equiparar sus características mecánicas. Para volúmenes pequeños se puede utilizar una pistola de inyección manual; para volúmenes más grandes se debería utilizar una bomba. Una vez llenada la fisura se debe mantener la presión durante varios minutos para asegurar una buena penetración.

- Morteros de reparación

La elección del mortero de reparación adecuado se hace en gran medida mediante el uso de las hojas de datos del fabricante, los contactos con las ventas representantes, conjeturas y por experiencia con lo que ha funcionado adecuadamente en el pasado.

Los morteros juegan un papel importante en la recomposición de la geometría, características mecánicas y acabados superficiales de las unidades estructurales afectadas por un proceso patológico que se ha fisurado o agrietado, ya que tienen un grado de adherencia alto, tanto de forma mecánica como química sobre el soporte, que se ha preparado previamente para aumentar la rugosidad.

Se debe conocer la tipología de los morteros que se basan en polímeros acrílicos o epoxídicos. Se presentan emulsionados, bicomponentes, hidráulicos, con ligantes, que suelen ser los más comunes, para que al reparar las estructuras se igualen o superen las resistencias a la tracción, elasticidad y flexo-tracción, para que la reparación pueda trabajar en conjunto con la estructura existente.

Se puede llenar las fisuras por gravedad, como en el apartado anterior, o remover el concreto defectuoso y llegar al refuerzo, donde se recubrirá con adhesivos epoxi que aseguran la adherencia entre la armadura original y el material de reparación con lechada cementosa, polímeros, resinas epoxídicas o inhibidores superficiales de corrosión. Como una generalidad se considera que para pérdidas de sección superiores al 15 % es necesario recalcular la estructura, y, si es necesario, restaurar la capacidad inicial del acero de refuerzo en el concreto.

La preparación de la mezcla debe seguirse minuciosamente, como especifican las instrucciones del fabricante en lo que se refiere a temperaturas, proporciones, volumen máximo o tiempo de trabajabilidad. Es importante no mezclar de una sola vez más producto que el señalado por el fabricante, ya que el calor liberado en la reacción podría acelerar excesivamente el endurecimiento.

4. BLOQUE BAENZIGER

“El bloque Baenziger fue elaborado específicamente para generar tensiones en lugares precisos, con el fin de permitir que los morteros a base de cemento se fisuren y agrieten si no están bien formulados, mezclados o aplicados. Asimismo, se evalúa el rendimiento de materiales de reparación con respecto a la trabajabilidad y adhesión a un sustrato de concreto sólido; fue elaborado originalmente y desarrollado por Heinz Baenziger y Alexander Bleibler, en 1992.”¹⁴

4.1 Diseño y datos técnicos

El bloque Baenziger fue cuidadosamente diseñado para que no fuera demasiado voluminoso y pesado. Es adecuado para uso en el laboratorio; sin embargo, grande y lo suficientemente robusto como para simular una reparación realista en el sitio.

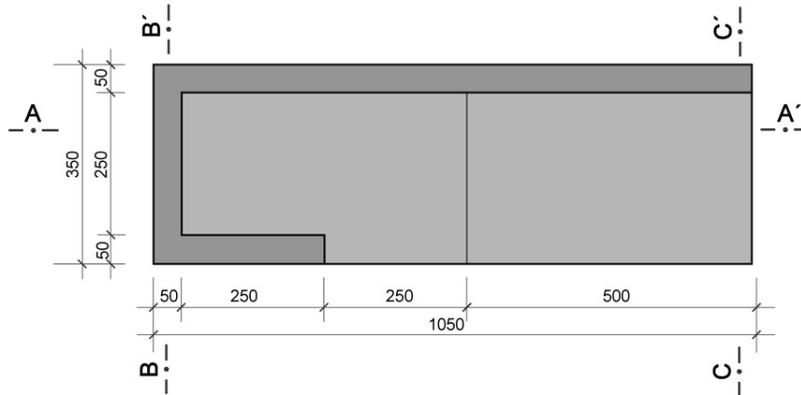
El tamaño del bloque fue elegido para que fuera utilizado alrededor del 90 % de una bolsa típica de 25 kilogramos, por lo que no se mezclan “bolsas de partes” para la evaluación de los morteros de reparación a base de cemento.

Un producto de reparación se evalúa dentro de un corto tiempo: las fisuras de contracción plástica se hacen visibles después de 1 día; las fisuras por

¹⁴ A. SCHIEGG AND H. BAENZIGER. *Efficient testing of fibers with the Baenziger block*, p. 44.

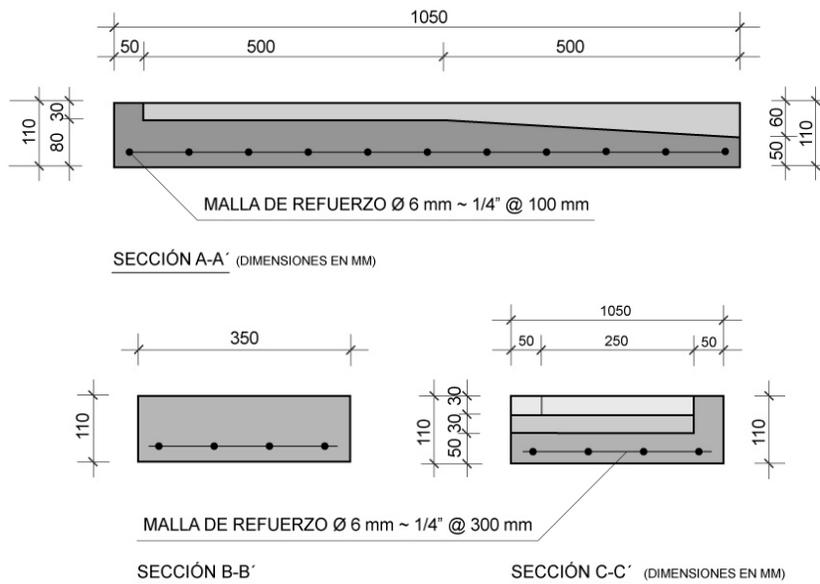
contracción al secado, en 2-6 semanas. El diseño del bloque Baenziger se muestra en el dibujo técnico a continuación:

Figura 21. **Planta bloque Baenziger**



NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS

Figura 22. **Secciones bloque Baenziger**



Fuente: *Efficient Testing of Fibers with the Baenziger Block* – Modificado (estudio propio).

Tabla II. **Resumen datos técnicos bloque Baenziger**

Especificación	Descripción
Cemento	Cemento normal
	Contenido de cemento 300-350 kg/m ³ - Cemento Portland tipo I 50 MPa resistencia a la compresión ~ 7 250 psi (requiere uso de aditivos).
Agregado (grava)	>1 - 26 mm
Refuerzo	Acero de alto rendimiento barras de \varnothing 6 mm @ 100 mm (largo)
	Acero de alto rendimiento barras de \varnothing 6 mm @ 300 mm (ancho)
Acabado de superficie	Chorro de arena estándar según EN 1766 (aspereza min. de 2mm)
Volumen del bloque	Aproximadamente 28 litros
Peso	Sin llenar: aproximadamente 60 kg
	Lleno: aproximadamente 81 kg
Requerimientos especiales	Mínimo dos meses de curado después de construido el bloque, antes de usarse en pruebas.

Fuente: GILLESPIE T. *New method to predict performance of concrete repair materials in the field*, en *Proceedings of the ICRI Spring Convention*, p 4. Modificado (estudio propio).

El bloque debe ser curado en húmedo durante al menos 28 días y aplicarle en la superficie donde se colocará el mortero de reparación, un chorro de arena para darle aspereza; está reforzado con una cama de acero en la parte inferior para mantener cualquier deformación forzada lo más bajo posible, deformación debida a la contracción del mortero de prueba.

4.2 Usos del bloque Baenziger

El bloque tiene el objetivo de evaluar las propiedades básicas en cuanto al rendimiento de los morteros cementicios de reparación al momento de ser utilizados en la reparación de algún elemento estructural, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Facilidad de trabajo de colocación del mortero
- Estabilidad durante la aplicación y el curado (vida de la masa)
- Adherencia al soporte
- Craqueo del material vertido en el bloque
- Comportamiento de los morteros en espesores mayores a 2" ~ 500 mm
- Reacción al estar en contacto con agua en estado endurecido

Es una prueba que tiene altos estándares para los morteros de reparación. El bloque tiene la configuración geométrica óptima para inducir en el mortero el craqueo. A lo largo de su historia se ha descubierto que los resultados están en línea con la experiencia en la práctica y que la repetibilidad es muy buena, al aplicar la evaluación en más de una ocasión al mismo tipo de mortero.

Al estar expuesto a la intemperie el clima es similar al utilizado en condiciones reales, lo que hace que se asemeje a un trabajo de reparación.

Otro uso que tiene el bloque Baenziger es el de una "herramienta de evaluación comparativa" para morteros de reparación. Permite hacer una apreciación realista y comparativa del rendimiento de la variedad y diversidad de productos disponibles en el mercado.

4.3 Fabricación y detalles

A continuación, se describe el proceso de fabricación de los bloques Baenziger para su posterior uso con los morteros cementicios.

4.3.1 Formaleteado

Las formaletas para construir el bloque Baenziger se fabricaron de madera de pino amarillo y blanco, debido a su nobleza, versatilidad y menor costo. La madera puede ser reutilizada para construir de 2 a 3 bloques, ya que por las variaciones volumétricas generadas por la humedad del concreto y al desencofrar el bloque se deforma la madera, y pierde las medidas que se requieren para realizar el bloque.

Figura 23. **Madera de pino utilizada para construcción de formaletas**



Fuente: elaboración propia.

La madera debe ajustarse con la mayor exactitud posible de acuerdo con el patrón de referencia (que en este caso son los planos de construcción del bloque)

para que este tenga las medidas correctas. Se debe eliminar las curvas que se forman naturalmente en el proceso de secado.

Figura 24. **Cepillado de madera de pino con una cepilladora industrial**



Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Canteado de la madera con una canteadora industrial**



Fuente: elaboración propia.

En las uniones de madera se utilizaron juntas simples y ensambles a media madera. Al inicio se utilizaron tornillos para madera. Al realizar un ensayo con la fundición de concreto en la formaleta, se tuvo que cambiar por tornillo Polser debido a que dan una mejor sujeción y agarre y el desmontaje es más sencillo.

Figura 26. **Unión de piezas para construcción de formaleta**



Fuente: elaboración propia.

La formaleta se armó teniendo en cuenta la reutilización de la misma para fundir otros bloques. Los tornillos quedan fuera de la misma para ser accesibles al momento de desencofrar los bloques. A las piezas se les hicieron unas marcas para que se facilitaran el armado posterior.

Para que el vertido y vibración de los morteros sea mejor, se invirtió la planta del bloque y quedó en la parte inferior.

Figura 27. **Formaleta bloque Baenziger**

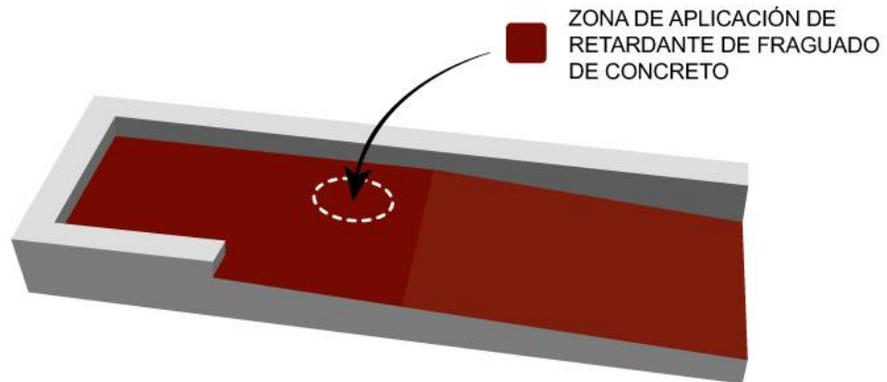


Fuente: elaboración propia.

Antes de fundir se debe preparar la formaleta para que el concreto no se adhiera a la madera y aplicar desencofrante; en la zona superior, donde se adhiere el mortero de reparación al bloque, se suministra sobre el área retardante de fraguado, ya que esto facilitará la aplicación del chorro de arena *sand blast* sobre esa superficie.

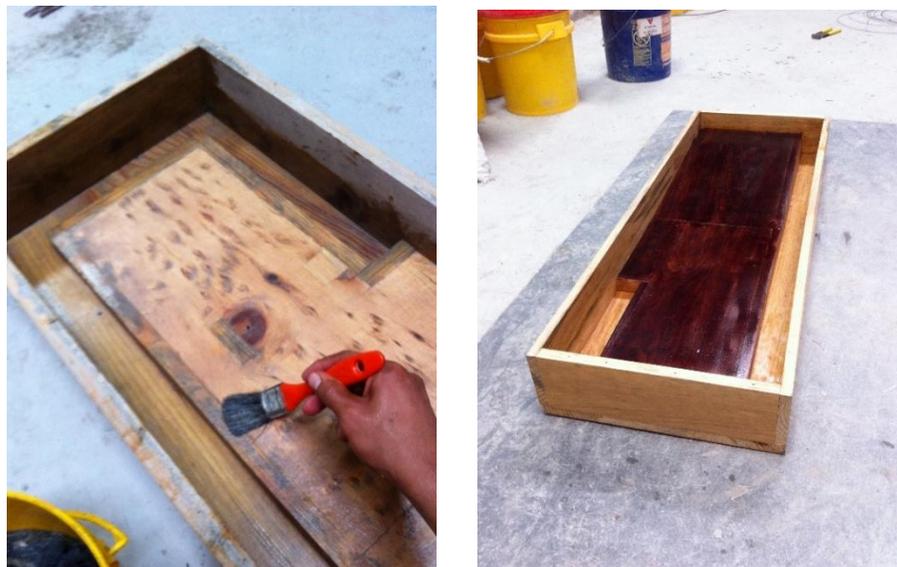
Los materiales aplicados deben aumentar la vida útil de la formaleta para que pueda ser reutilizada y disminuir el desgaste de la madera. Se aplica por lo menos dos manos sobre la formaleta para que lo asimilado por la madera no interfiera en los resultados de las pruebas.

Figura 28. **Superficie donde se aplica retardante en formaleta de bloque**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Aplicación de retardante y desencofrante en formaleta de bloque**



Fuente: elaboración propia.

4.3.2 Materiales de construcción

Los materiales fueron seleccionados en el laboratorio, donde se hizo el proceso de fabricación de los bloques por cumplir con los estándares de calidad mínimos.

- **Cemento**

Cemento hidráulico normal, que cumpla con la norma ASTM C-150, especificación normalizada para cemento Portland. Para el tipo de cemento I no se requieren propiedades especiales.

- **Agregados**

El agregado utilizado debe cumplir con la norma ASTM -33 – Especificación estándar para agregados para concreto. Para realizar esta prueba se utilizó agregado grueso de 3/8” y 1”, que se obtuvo a partir de un proceso de trituración de roca sólida, tamizada y lavada para asegurar la distribución granulométrica y la eliminación de residuos. También se utilizó agregado fino arena de piedra caliza triturada de 0-1,5 mm.

- **Barras de refuerzo**

Las varillas lisas de sección transversal circular de 1/4” grado 60 fueron usadas en la parrilla del bloque para disminuir cualquier deformación que se pueda generar. Se cumple con la norma NGO 36 011:2 005 – Barras de acero de refuerzo para hormigón (concreto), sin exigencias especiales de soldabilidad.

- Agua

El agua debe de estar limpia y clara, no tener residuos de otros líquidos, sales, lodo o materias orgánicas.

- Aditivo

Reductor de agua de alto rango para aumentar la resistencia final de la mezcla al disminuir la relación agua / cemento. Se alcanza de esta forma lo requerido para evitar las deformaciones en el bloque Baenziger. Esta es la resistencia mayor que la de los morteros de reparación por evaluar.

Figura 30. **Materiales para fabricar el bloque Baenziger**



Fuente: elaboración propia.

4.3.3 Diseño de mezclas

El diseño de mezclas para el concreto teórico fue calculado para un volumen de 1 m³ y para alcanzar una resistencia final a la compresión de

50 MPa ~ 7 250 psi. Se tomó como base la ficha técnica del aditivo (reductor de agua), los datos técnicos de los materiales prestados por el laboratorio donde se hicieron las pruebas y el método planteado por el comité 211,4 del Instituto Americano de Concreto (ACI).

Tabla III. **Diseño de mezcla teórico – Bloque Baenziger**

Materiales	Cantidad (kg/m ³)	Cantidad (lt/m ³)
Cemento	383 kg/m ³	127,5 lt/m ³
Agregado 3/8"	469 kg/m ³	174,34 lt/m ³
Agregado 1"	573 kg/m ³	213,09 lt/m ³
Arena triturada	785 kg/m ³	295,29 lt/m ³
Agua	180 kg/m ³	179,78 lt/m ³
Vacíos	1%	10
Total	2 389 kg/m ³	1 000 lt/m ³
Aditivo - Reductor	3	ml/kg

Diseño teórico calculado para 1 m³

Aire considerado para diseño de mezcla 1.00 %

Fuente: elaboración propia.

La densidad del reductor de agua de alto rendimiento utilizado en la elaboración de los bloques es de 1,1 g / cc. Para la adición del aditivo se utiliza un porcentaje del peso total de cemento, por lo que en el diseño de los bloques se utilizó un 0,33 %, que se traduce en 3 ml / kg (cemento), para alcanzar la resistencia requerida en el diseño.

Tabla IV. **Diseño en peso para bacheada de 70 litros**

Materiales	Cantidad	Unidad
Cemento	26,78	kg
Agregado 3/8"	32,48	kg
Agregado 1"	39,76	kg
Arena triturada	54,5	kg
Agua	11,24	lt
Aditivo - Reductor	80,33	ml

Volumen del bloque Baenziger aprox 28 - 30 litros

Diseño calculado para 70 litros (2 bloques y 8 cilindros)

Fuente: elaboración propia.

La relación agua/cemento (a / c) del diseño teórico es de 0,47, con los datos técnicos del aditivo y la 6,5 del ACI 211,4R_08.

Máximo recomendado de a / c para concreto de alta resistencia. Se redujo a un 0,42 de relación agua/cemento, con lo cual el aporte del agua a la mezcla tuvo un decremento del 10,65 %.

Figura 31. **Medición de aditivo con probeta de 100 ml**



Fuente: elaboración propia.

4.3.4 Mezcla de elementos

Para la fabricación de concreto se utilizó una mezcladora mecánica de 1,5 sacos a 25 revoluciones por minuto; la mezcla se realizó en un tiempo de 2 1/2 min (150 segundos) con todos los componentes dentro del tambor, sin aditivo.

Se dejó reposar durante 2 minutos (con la boca del tambor tapada) y se continuó con un tiempo de mezclado final de 2 minutos, y se agregó el aditivo a la mezcla al inicio de esta etapa.

No se recomienda mezclar durante un período mayor al especificado debido a que el agua de la mezcla se evaporará y perderá la trabajabilidad.

Figura 32. **Mezcla de materiales**



Fuente: elaboración propia.

La mezcla fue vertida dentro de la formaleta del bloque hasta dejar cubierto 3 centímetros por debajo del límite para colocar la parrilla de acero, para que quedara embebida dentro del concreto.

Figura 33. **Colocación de parrilla de acero**



Fuente: elaboración propia.

Para las pruebas a compresión del concreto se tomaron muestras de la mezcla, moldeadas en depósitos plásticos cilíndricos de 5" x 10" (127 x 254 mm), almacenadas intactas en el laboratorio hasta su ensayo, con lo requerido en la norma ASTM C 31, Prácticas normalizadas para preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

Se fabricó un juego de 8 cilindros para el muestreo del concreto. Fueron preparados y curados siguiendo el procedimiento normalizado. Para apisonarlos se utilizó una varilla de \varnothing 3/8" (9,53 mm) y un mazo de caucho para cerrar los vacíos entre cada capa colocada. Las muestras fueron tomadas a la mitad de la carga de la mezcladora mecánica. El asentamiento utilizado fue de 2,8 cm.

Figura 34. **Cilindros de concreto de ensayo**



Fuente: elaboración propia.

4.3.5 Curado de bloque

El proceso de curado del bloque Baenziger se describe en sus diferentes fases a continuación.

- Curado inicial

Los bloques Baenziger fueron dejados en sus formaletas para el curado inicial por un período de 48 horas. El molde fue protegido para evitar la pérdida de humedad; el ambiente del laboratorio se mantiene en un rango entre 18 – 26 °C debido a la construcción tipo bodega industrial con paneles de concreto y una altura de unos 8 – 9 m. El bloque y los cilindros de prueba fueron desencofrados posteriormente.

Figura 35. **Desencofre de bloque Baenziger**



Fuente: elaboración propia.

- Curado final

Luego del desencofre de los bloques fue rociada con agua a presión, con una hidro lavadora de 1 600 PSI (11,03 MPa), la superficie donde los morteros de reparación serán vertidos en los bloques, para mejorar la adherencia entre las partes (bloque–mortero). Por esta razón, el retardante aplicado sobre la formaleta desempeña un papel importante al momento de remover la capa superficial de concreto y descubrir el agregado del bloque, ya que no se utilizó el método tradicional del chorro de arena - *sandblast*.

Figura 36. **Remoción de capa superficial de concreto con agua a presión**



Fuente: elaboración propia.

Luego los especímenes fueron sumergidos inmediatamente dentro de agua saturada con hidróxido de calcio (cal) en un recipiente plástico tipo IBC. Quedan inmersos en su totalidad dentro del contenedor.

Los cilindros fueron extraídos hasta el momento del ensayo en el laboratorio. Los bloques Baenziger estuvieron 4 meses inmersos en agua, hasta que todas las deformaciones por contracción por secado pasaron.

Figura 37. **Curado de bloque Baenziger y cilindros de ensayo**



Fuente: elaboración propia.

4.3.6 Resistencia de la mezcla de concreto

Los cilindros de concreto fueron ensayados a las edades de 3, 7, 21 y 28 días, dos cilindros por fecha. Se tomó como dato el promedio entre ambas cantidades.

Se comprobó que las superficies de los cilindros estuvieran planas. Se les llevó a la máquina de compresión de concreto semiautomática en estado húmedo y se le aplicó una carga a velocidad constante entre $1,6 - 3,3 \text{ kg/cm}^2$, hasta que los cilindros fallaron. En los apoyos se utilizó almohadillas de neopreno.

La resistencia a compresión se calcula de la siguiente manera:

$$f'c = P/A \quad (1)$$

Donde:

P = Carga máxima aplicada en Newton (N).

A = Área de la sección transversal en m^2 .

$f'c$ = Resistencia especificada a la compresión del concreto (Pascales).

El área del cilindro se calcula de la siguiente manera:

$$A = \pi r^2 \quad (2)$$

$$\emptyset = 5" * \frac{2,54 \text{ cm}}{1"} = 12,70 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad r = \frac{\emptyset}{2} = \frac{12,70 \text{ cm}}{2} = 6,35 \text{ cm}$$

$$A = \pi(6,35 \text{ cm})^2 = 126,67 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ cm}^2} = 0,012667 \text{ m}^2$$

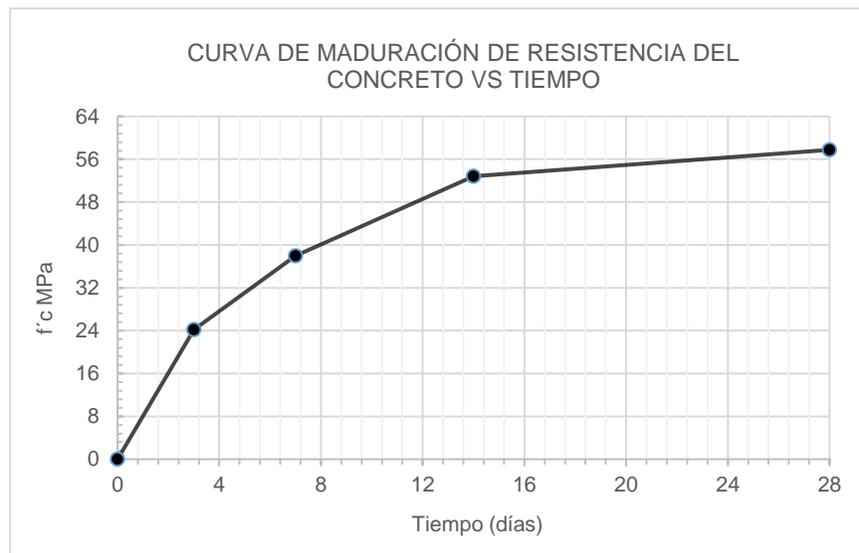
Tabla V. **Cargas aplicadas a cilindros de ensayo en edades de maduración a la resistencia a compresión**

Edad del ensayo (días)	Fuerza aplicada (N)	Área cilindro sección transversal (m ²)	f'c (Mpa)
0	0.00	0,0127	0
3	306 555,92	0,0127	24,2
7	480 735,42	0,0127	37,95
14	668 849,28	0,0127	52,8
28	731 553,90	0,0127	57,75

Resistencia requerida a los 28 días - 50 Mpa

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Curva f'c vs tiempo – cilindros de ensayo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Cilindro de concreto ensayado – 7 días**



Laboratorio tecnología del concreto – Ciudad de Guatemala

Fuente: elaboración propia.

4.4 Evaluación de morteros cementicios de reparación

Los cinco bloques fabricados fueron trasladados a un lugar donde estuvieran expuestos a diferentes grados de calor de la atmósfera, presión atmosférica, al movimiento del aire, precipitación y humedad existente en el lugar. Los bloques deben estar libres de polvo, de algún tipo de material suelto o mal adherido, contaminantes superficiales y materiales que puedan reducir la adherencia o impedir la humectación de los materiales de reparación.

Como la superficie está preparada con la rugosidad adecuada, no se necesita imprimación de adherencia. Por tanto, se aplica una capa a la superficie de humectación superficial previa al sustrato. Este debe estar con la superficie

seca saturada (SSS). Se debe quitar los excesos de agua con una esponja si fuese necesario; debe estar húmedo, pero no mojado.

Figura 40. **Preparación de bloque Baenziger para colocación de morteros de reparación**



Fuente: elaboración propia.

4.4.1 Morteros de reparación

Cada uno de los elementos por evaluar deben ser estudiados previamente por las fichas técnicas dadas por el fabricante, teniendo en cuenta el tiempo de mezclado, cantidad de agua en mezcla, temperatura máxima y mínima, fraguado, entre otros aspectos.

En este estudio se realiza la prueba con cinco (5) morteros de reparación, por lo que se les hace el siguiente cuadro comparativo:

Tabla VI. **Comparativa entre especímenes por evaluar**

Aspecto por evaluar	Mortero 1	Mortero 2	Mortero 3	Mortero 4	Mortero 5
Uso	<ul style="list-style-type: none"> •Trabajos de reparación de desprendimientos, oquedades o deterioros en elementos de concreto simple o armado. •Refuerzo estructural mediante el incremento de la capacidad de carga de la estructura de concreto al adicionar el mortero. •Trabajos de preservación o restauración en el acero de refuerzo. 	<ul style="list-style-type: none"> •Reparaciones verticales o sobre cabeza. •Muelles, alcantarillas, presas, paredes marítimas, canales y estructuras de mampostería. •Reparación de concreto y mampostería en plantas de alimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Renovación de estructuras de concreto moldeado en sitio, prefabricado, precolado y postensado. •Tratamiento de imperfecciones y defectos en superficies de concreto. •Reparación de superficie expuestas a alta abrasión. 	<ul style="list-style-type: none"> •Reparaciones estructurales generales •Trabajos en contra del congelamiento, abrasión, sales de deshielo e impacto. •Reparaciones en estacionamientos, rampas, accesos, pisos interiores sujetos a carga y abrasión. 	<ul style="list-style-type: none"> •Reparación a daños e irregularidades en estructuras de concreto tales como vigas, columnas, losas, postes, graderías, pilotes, tuberías, entre otros. •Reparaciones de gran espesor, superficies verticales y sobre cabeza sin necesidad de utilizar cimbra. •Repello de juntas.
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> •Excelente trabajabilidad, incluso a temperaturas ambientales altas •Alta resistencia a sulfatos. •Clasificación del fuego A1. •Baja contracción y refuerzo con fibras. 	<ul style="list-style-type: none"> •Rociable •Retracción compensada para reducir agrietamiento. •Muy baja permeabilidad. •Formulación con microsílíce 	<ul style="list-style-type: none"> •Fraguado rápido; reduce el fuera de servicio y los problemas derivados del retorno al servicio. •Resistente a la abrasión. •Contracción compensada para reducir los problemas de formación de grietas. •Resistencia al ciclo de hielo y deshielo, sales para deshielo. 	<ul style="list-style-type: none"> •Excelente resistencia a la abrasión del tráfico de carga pesada. •Altas resistencias iniciales para reparaciones rápidas •Expansión térmica similar a la del concreto para una mayor duración. •No forma barrera de vapor para reparaciones exteriores más duraderas. 	<ul style="list-style-type: none"> •Excelente adherencia al sustrato. •Reforzado con fibras sintéticas. •Su aplicación no requiere cimbra. •No es corrosivo, ni tóxico. •Se emplea en la reparación de elementos que estarán en contacto con agua potable.

Tabla VI. **Comparativa entre especímenes por evaluar (continuación)**

Aspecto por evaluar	Mortero 1	Mortero 2	Mortero 3	Mortero 4	Mortero 5
Presentación	Saco de 25 Kg / Polvo gris	Saco de 25 Kg	Saco de 25 Kg / Polvo gris claro	<ul style="list-style-type: none"> •22,67 Kg de componente cementicio • 4,54 L de componente modificador líquido 	Unidad de 25 kg (A + B) Componente A: Líquido Componente B: Polvo
Componentes	Mono componente	Mono componente	Mono componente	Bicomponente	Bicomponente
Espesor por capa	<ul style="list-style-type: none"> •6 mm mín. / 50 mm máx. en vertical. •6 mm mín. / 30 mm máx. sobre cabeza 	<ul style="list-style-type: none"> • mín. 6 mm •Máximo 51 mm (aplicado en capas de 25 mm) 	<ul style="list-style-type: none"> •6 mm mín. •100 mm máx. (10 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> •Espesor mínimo de área 3 mm. •50 mm máx. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mínimo 3 mm. •Máximo 20 mm por capa (hasta 50 mm)
Densidad	Mortero fresco ~ 2.10 kg / L	Mortero fresco ~ 2.01 kg / L	En húmedo 2.1 Kg / L	Mortero fresco 1.95 kg / L	Mezcla A+B: 2,2 kg / L aprox.
Temperatura de aplicación	min. +5°C / máx. +35°C	mín. 5°C / máx. +38°C	No utilizar en temperaturas menores a 5°C	No utilizar en temperaturas menores a 5°C	Temperaturas entre 5°C y 30°C
Aspecto por evaluar	Mortero 1	Mortero 2	Mortero 3	Mortero 4	Mortero 5
Proporción de agua	3.75 L por 25 kg de polvo	3.8 L (10.5 a 15% peso)	4 L (por cada 22.7 kg polvo)	No requiere agua Se utiliza 3,29 litros de componente líquido.	No adicionar agua Se utiliza componente A líquido en un 95% (4,1 L)
Tiempo de vida de la mezcla (+20°C- 25°C)	45 minutos	45 minutos a 21°C	Trabajo 8 min. Inicio de fraguado a los 15 min.	20 minutos.	30 minutos aproximadamente a temperatura ambiente 20°C.

Fuente: Hojas técnicas de los productos y datos obtenidos en campo.

4.4.2 Mezcla y aplicación

En recipientes limpios fueron vertidos los sacos de morteros de reparación; el agua fue agregada poco a poco, las cantidades acorde a las especificaciones del fabricante. Para el mezclado se utilizó un taladro eléctrico graduado a 450 revoluciones por minuto (rpm), con una paleta para mezclar tipo cubo de hélice durante un tiempo de 2 – 3 minutos, hasta alcanzar una consistencia homogénea y libre de grumos.

Figura 41. **Mezcla de morteros de reparación**



Fuente: elaboración propia.

La primera capa aplicada es compacta, apretada firmemente contra el perfil de la superficie seca saturada (SSS), aproximadamente de unos 4 mm y cubre toda el área por reparar. Con una cuchara de albañil (llana) se aumenta el espesor por capas de 2,54 cm hasta llegar ras del bloque Baenziger, para evitar que el calor generado en el proceso de hidratación produzca grietas en tensión.

Para garantizar el completo desarrollo de las resistencias se aplicó con un rociador una emulsión acuosa de parafina (líquido de curación), que formó una delgada película sobre la superficie para evitar la pérdida prematura de humedad. La película que forma el curador sobre el mortero fresco retiene el agua y evita el resecamiento prematuro y previene la formación de fisuras por retracción durante el fraguado, ya que los especímenes se encuentran en condiciones de campo.

Figura 42. **Aplicación de líquido de curación sobre bloques**



Fuente: elaboración propia.

Como diferentes productos se comparan entre sí, las muestras fueron mezcladas muy poco una con la otra, por lo que a continuación se detalla la información:

Tabla VII. **Información de mezclado y aplicación de morteros en bloques Baenziger**

Mortero	Tiempo de mezcla y aplicación	Duración (minutos)	Temperatura media (°C)
1	11:21 am - 11:30 am	9	23,0
2	11:58 am - 12:04 pm	6	24,6
3	12:11 pm - 12:18 pm	7	25,4
4	12:27 pm - 12:34 pm	7	26,5
5	12:48 pm - 12:56 pm	8	26,2

Fuente: elaboración propia.

El desencofrado de los bloques se realizó a las 22 horas de haber aplicado los morteros en ellos.

4.4.3 Ensayo a compresión

Para los procedimientos de ensayo se utilizó como referencia la Norma Técnica Guatemalteca – NTG 41 003 h4 - Método de Ensayo, determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado.

La mezcla de los morteros se realizó acorde a las fichas técnicas de los proveedores. Se llevó los moldes metálicos al lugar y se rellenaron después de llevar a cabo el mezclado. La colocación, apisonado y curado se realizó acorde a norma. La relación de agua-cemento es considerada como constante, ya que

cada muestra de 3 unidades es de una misma amasada. El operador que realizó las mezclas de los 5 especímenes de mortero es el mismo.

Figura 43. **Cubos de morteros de reparación**



Fuente: elaboración propia.

Los cubos fueron evaluados a la misma edad (28 días). Se les sacó del contenedor no corrosivo inmersos en agua con cal, donde fueron almacenados hasta la fecha de ensayo dentro de la tolerancia admisible por la norma. Los especímenes fueron secados y les fue removido cualquier grano de arena suelta o imperfección. Ninguno de los ejemplares fue descartado para las pruebas a compresión. Las aristas de los cubos tienen 50 mm.

Para el ensayo se utilizó un cilindro hidráulico con capacidad de 232 kN, donde se le aplicó una velocidad de carga al cubo de mortero entre el rango de 1 100 – 1 800 N/s. Para determinar la resistencia a la compresión se realizaron los siguientes cálculos con los datos obtenidos en la experimentación:

Tabla VIII. **Datos obtenidos ensayo a compresión de cubos de mortero de reparación**

Tipo	P (N) cubo 1	P (N) cubo 2	P (N) cubo 3	Área (m ²)
Mortero 1	130 750	131 000	129 800	0,0025
Mortero 2	178 000	176 125	174 500	0,0025
Mortero 3	120 850	120 500	121 250	0,0025
Mortero 4	85 100	87 050	86 450	0,0025
Mortero 5	99 500	98 900	98 050	0,0025

Fuente: elaboración propia.

La resistencia a compresión de los morteros se expresa con la siguiente expresión:

$$f_m = P/A \quad (3)$$

Donde:

f_m = Resistencia a la compresión en MPa

P = Carga total máxima en N

A = Área de la superficie cargada en mm²

Para calcular la resistencia de los morteros a la compresión se toma la media de los tres resultados obtenidos en las pruebas. La media se formula de la siguiente forma:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_1 + x_2 + \dots + x_n)}{N} \quad (4)$$

Con la media se puede calcular la desviación estándar (coeficiente de variación) de las determinaciones de ensayo obtenidas de especímenes de ensayo idénticos, elaborados por un solo operador, con el mismo equipo, en las mismas condiciones y durante un tiempo corto, para obtener los índices de precisión del amasado por el ejecutor de la prueba:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad (5)$$

Donde:

σ = Desviación estándar

\bar{X} = Media aritmética

N = Cantidad total de datos evaluados

A partir de los datos anteriores se calcula el coeficiente de variación (relación entre la desviación estándar y el promedio expresado como un porcentaje). Se utiliza si la desviación estándar es proporcional al nivel de las características que se están midiendo. En la norma, el límite permitido es el de 1%, expresado de la siguiente forma:

$$C.V. = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (6)$$

Los cálculos de las muestras ensayadas se detallan a continuación:

- Mortero de reparación 1

$$\bar{X}_1 = \frac{130\,750 + 131\,000 + 129\,800}{3} = 130\,516,67 \text{ Newtons}$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{(130\,750 - 130\,516,67)^2 + (131\,000 - 130\,516,67)^2 + (129\,800 - 130\,516,67)^2}{3}} = 516,94$$

$$C.V_1 = \frac{516,94}{130\,516,67} * 100 = 0,40 \%$$

- Mortero de reparación 2

$$\bar{X}_2 = \frac{178\,000 + 176\,125 + 174\,500}{3} = 176\,208,33 \text{ Newtons}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{(178\,000 - 176\,208,33)^2 + (176\,125 - 176\,208,33)^2 + (174\,500 - 176\,208,33)^2}{3}}$$

$$= 1430,08$$

$$C.V_2 = \frac{1\,430,08}{176\,208,33} * 100 = 0,81 \%$$

- Mortero de reparación 3

$$\bar{X}_3 = \frac{120\,850 + 120\,500 + 121\,250}{3} = 120\,866,67$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{(120\,850 - 120\,866,67)^2 + (120\,500 - 120\,866,67)^2 + (121\,250 - 120\,866,67)^2}{3}}$$

$$= 306,41$$

$$C.V_3 = \frac{306,41}{120\,866,67} * 100 = 0,25 \%$$

- Mortero de reparación 4

$$\bar{X}_4 = \frac{85\,100 + 87\,050 + 86\,450}{3} = 86\,200$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{(85\,100 - 86\,200)^2 + (87\,050 - 86\,200)^2 + (86\,450 - 86\,200)^2}{3}} = 815,48$$

$$C.V_4 = \frac{815,48}{86\,200} * 100 = 0,95 \%$$

- Mortero de reparación 5

$$\bar{X}_5 = \frac{99\,500 + 98\,900 + 98\,050}{3} = 98\,816,67$$

$$\sigma_5 = \sqrt{\frac{(99\,500 - 98\,816,67)^2 + (98\,900 - 98\,816,67)^2 + (98\,050 - 98\,816,67)^2}{3}}$$

$$= 594,89$$

$$C.V_5 = \frac{516,94}{98\,816,67} * 100 = 0,60 \%$$

Tabla IX. **Resumen de cálculos obtenidos sobre morteros**

Tipo	P media (N)	Desviación	C.V.
Mortero 1	130 516,67	516,94	0,40 %
Mortero 2	176 208,33	1 430,08	0,81 %
Mortero 3	120 866,67	306,41	0,25 %
Mortero 4	86 200,00	815,48	0,95 %
Mortero 5	98 816,67	594,89	0,60 %

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de la resistencia a la compresión de los morteros (véase ecuación 3), se hizo lo siguiente, acorde a los datos obtenidos anteriormente:

- Resistencia a la compresión (f_m) del mortero de reparación 1

$$A = 0,0025 \text{ m}^2 = \frac{(1\ 000)^2 \text{ mm}^2}{1 \text{ m}^2} = 2\ 500 \text{ mm}^2$$

$$f_{m1} = \frac{P_{media}}{A} = \frac{130\ 516,67 \text{ N}}{2\ 500 \text{ mm}^2} = 52,21 \text{ MPa}$$

- Resistencia a la compresión (f_m) del mortero de reparación 2

$$f_{m2} = \frac{P_{media}}{A} = \frac{1\ 762\ 08,33 \text{ N}}{2\ 500 \text{ mm}^2} = 70,48 \text{ MPa}$$

- Resistencia a la compresión (f_m) del mortero de reparación 3

$$f_{m3} = \frac{P_{media}}{A} = \frac{120\ 866,67\ N}{2\ 500\ mm^2} = 48,35\ MPa$$

- Resistencia a la compresión (f_m) del mortero de reparación 4

$$f_{m4} = \frac{P_{media}}{A} = \frac{86\ 200,00\ N}{2\ 500\ mm^2} = 34,48\ MPa$$

- Resistencia a la compresión (f_m) del mortero de reparación 5

$$f_{m4} = \frac{P_{media}}{A} = \frac{98\ 816,67\ N}{2\ 500\ mm^2} = 39,53\ MPa$$

Tabla X. **Resumen de cálculos de resistencia a la compresión de los especímenes evaluados**

Tipo	f_m (MPa)
Mortero 1	52,21
Mortero 2	70,48
Mortero 3	48,35
Mortero 4	34,48
Mortero 5	39,53

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. **Ensayo de compresión morteros de reparación**

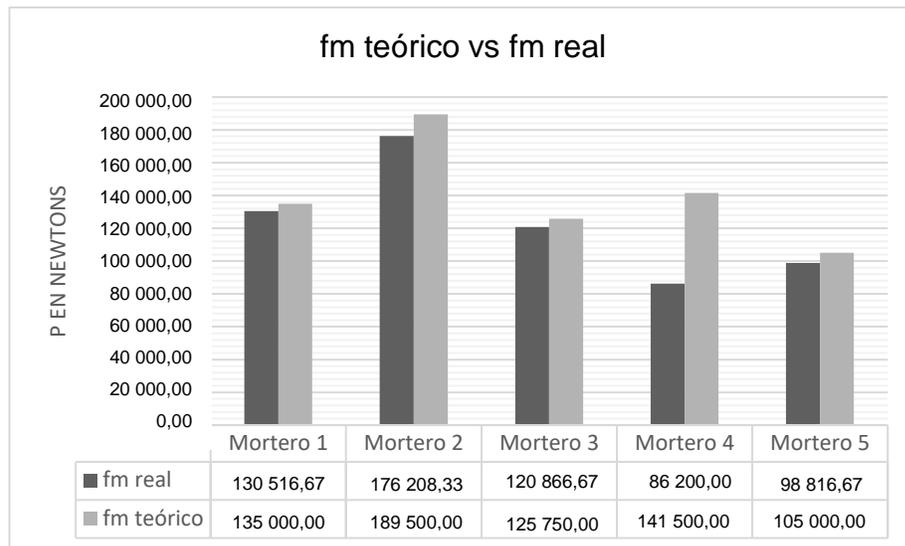


Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican que los morteros de reparación están dentro del parámetro establecido por la norma en cuanto al coeficiente de variación, por lo que el amasado de los especímenes es considerado como aceptable para determinar un buen ensayo con los bloques Baenziger.

Los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia a la compresión son comparados entre los datos proporcionados por los fabricantes en la siguiente gráfica:

Figura 45. **Comparación de la resistencia a la compresión de morteros de reparación**



Fuente: elaboración propia.

4.4.4 Evaluación por el bloque Baenziger

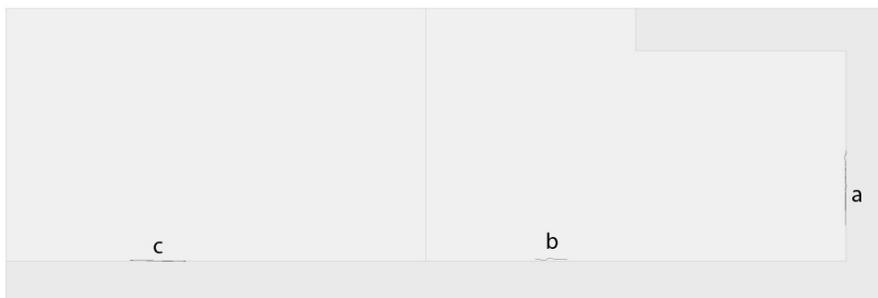
La apariencia de las fisuras debe ser verificada diariamente durante la primera semana; luego, semanalmente hasta que se considere necesario el estudio de los morteros de reparación. Llega un punto en el que las fisuras se mantienen y no es necesario realizar una revisión tan periódica. El tiempo tomado como referencia en las fotografías mostradas a continuación, es en el que las fisuras hicieron una mayor aparición sobre la superficie de los morteros de reparación.

Durante las primeras horas de vertido el mortero en los bloques Baenziger se evaluaron las fisuras por retracción hidráulica durante la curación y el fraguado. En las primeras veinte (20) horas fueron examinadas minuciosamente;

dichas fisuras no indican problemas estructurales, considerando las condiciones del momento de aparición.

4.4.4.1 Fisuras en morteros a las veinte (20) horas de fraguado

Figura 46. Fisuras en mortero de reparación 1 - Veinte (20) horas después de su fundición



Baenziger 1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Datos de fisuras en mortero de reparación 1 – 20 horas

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,03	82	1-20 hrs
b	0,02	35	1-20 hrs
c	0,04	60	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Fisuras en mortero de reparación 2 - Veinte (20) horas después de su fundición**



Baenziger 2

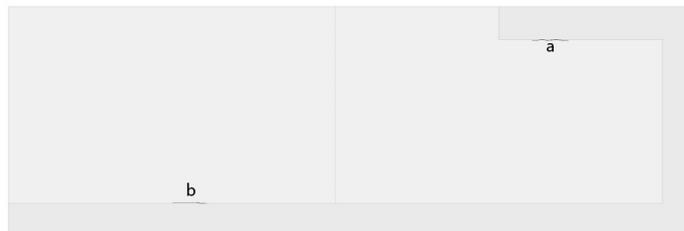
Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Datos de fisuras en mortero de reparación 2 – 20 horas**

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,2	67	1-20 hrs
b	0,1	93	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Fisuras en mortero de reparación 3 - Veinte (20) horas después de su fundición**



Baenziger 3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Datos de fisuras en mortero de reparación 3 – 20 horas**

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,025	63	1-12 hrs
b	0,02	59	1-12 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Fisuras en mortero de reparación 4 - Veinte (20) horas después de su fundición**



Baenziger 4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Datos de fisuras en mortero de reparación 4 – 20 horas**

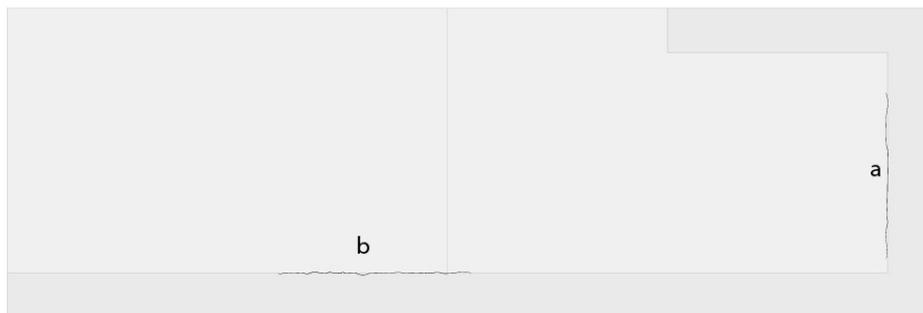
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,5	61	1-20 hrs

Tabla XIV. **Datos de fisuras en mortero de reparación 4 – 20 horas (continuación)**

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
b	0,1	64	1-20 hrs
c	0,8	42	1-20 hrs
d	0,9	89	1-20 hrs
e	0,05	24	1-20 hrs
f	0,2	74	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Fisuras en mortero de reparación 5 - Veinte (20) horas después de su fundición**



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Datos de fisuras en mortero de reparación 5 – 20 horas**

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,06	186	1-20 hrs
b	0,3	225	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

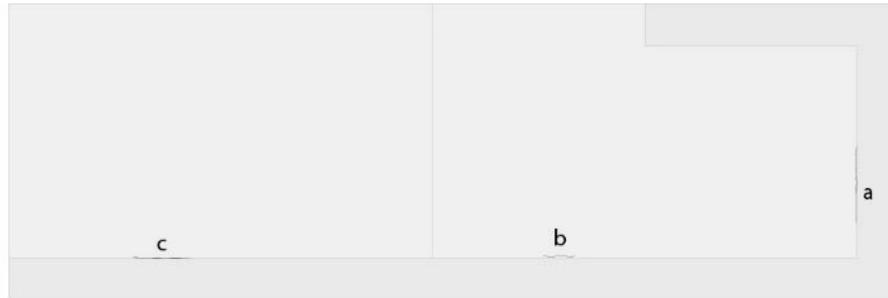
Los anchos de las fisuras fueron estimados con una tarjeta de comparación (fisurómetro manual). Para mejorar la apariencia de las fisuras se roció agua ligeramente sobre la superficie para poderlas detectar de una mejor manera.

Las fisuras generadas por retracción hidráulica durante el fraguado son las que predominan en esta fase de evaluación y el inicio de falta de adherencia al sustrato, ya que en la unión del bloque con el mortero es donde se observa la aparición de microfisuras.

4.4.4.2 Fisuras en morteros a las cuarenta y ocho (48) horas de fraguado

Se incluye las que aparecieron antes de las 24 horas y 48 horas sobre la superficie de los morteros de reparación, en los cinco especímenes evaluados por el método.

Figura 51. **Fisuras en mortero de reparación 1 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición**



Baenziger 1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Datos de fisuras en mortero de reparación 1 – 48 horas**

Mortero 1			
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,03	82	1-20 hrs
b	0,02	35	1-20 hrs
c	0,04	60	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Fisuras en mortero de reparación 2 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición**



Baenziger 2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Datos de fisuras en mortero de reparación 2 – 48 horas**

Mortero 2			
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,2	67	1-20 hrs
b	0,1	93	1-20 hrs
c	0,4	311	1-20 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Fisuras en mortero de reparación 3 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición**



Baenziger 3

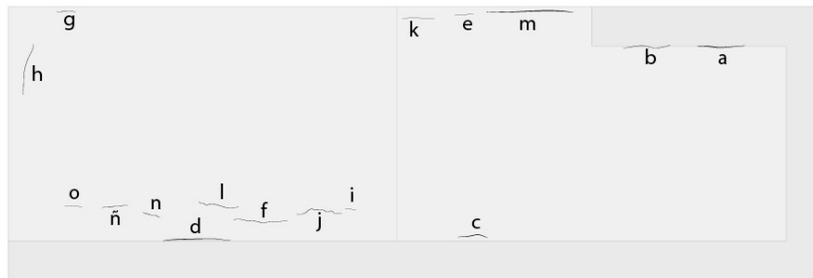
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Datos de fisuras en mortero de reparación 3 – 48 horas**

Mortero 3			
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,025	63	1-20 hrs
b	0,02	59	1-20 hrs
c	0,03	14	1-24 hrs
d	0,04	29	1-24 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Fisuras en mortero de reparación 4 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición**



Baenziger 4

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Datos de fisuras en mortero de reparación 4 – 48 horas**

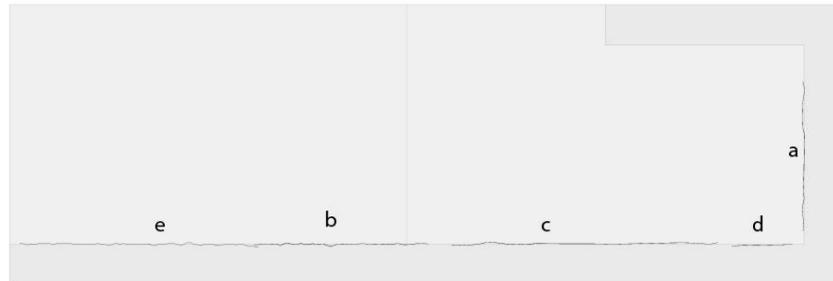
Mortero 4			
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,5	61	1-20 hrs
b	0,1	64	1-20 hrs
c	0,8	42	1-20 hrs
d	0,9	89	1-20 hrs
e	0,05	24	1-20 hrs
f	0,2	74	1-20 hrs
g	0,04	23	1-24 hrs
h	0,08	72	1-24 hrs
i	0,1	14	1-24 hrs
j	0,09	64	1-24 hrs
k	0,07	44	1-24 hrs
l	0,8	57	1-24 rs

Tabla XIX. **Datos de fisuras en mortero de reparación 4 – 48 horas (continuación)**

Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
m	1	114	1-24 hrs
n	0,09	23	1-48 hrs
ñ	0,1	34	1-48 hrs
o	0,2	22	1-48 hrs

Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Fisuras en mortero de reparación 5 - Cuarenta y ocho (48) horas después de fundición**



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Datos de fisuras en mortero de reparación 5 – 48 horas**

Mortero 5			
Fisura	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Aparición
a	0,06	186	1-20 hrs
b	0,3	225	1-20 hrs
c	0,4	338	1-24 hrs
d	0,3	74	1-24 hrs
e	0,2	310	1-24 hrs

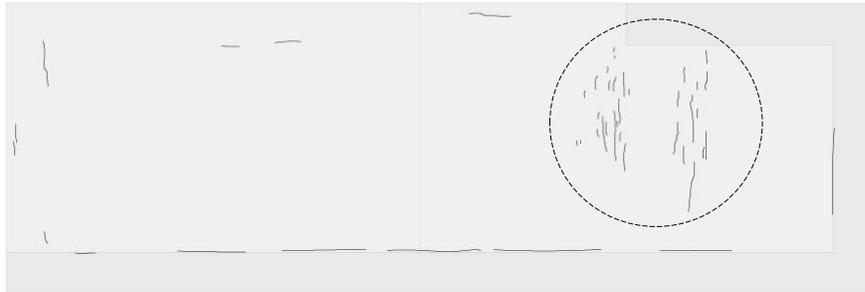
Fuente: elaboración propia.

Las fisuras presentadas aún no tienen riesgo estructural, ya que son meramente superficiales y rodean al agregado (no lo traspasan). En las cinco (5) muestras se observa que se da inicio al problema de adherencia al sustrato.

4.4.4.3 Fisuras en mortero de reparación setenta y dos (72) horas después de fundición

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de setenta y dos horas después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 56. **Fisuras en mortero de reparación 1 – Setenta y dos (72) horas después de fundición**

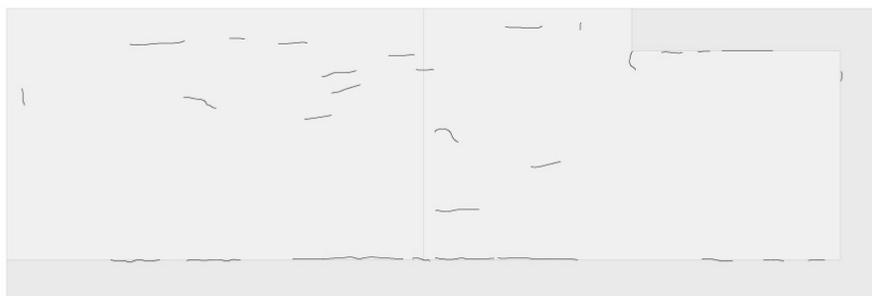


Baenziger 1

Fuente: elaboración propia.

Las fisuras aún no son tan perceptibles a simple vista. En la zona enmarcada hay fisuras por exceso de llana sobre la superficie del bloque.

Figura 57. **Fisuras en mortero de reparación 2 – Setenta y dos (72) horas después de fundición**



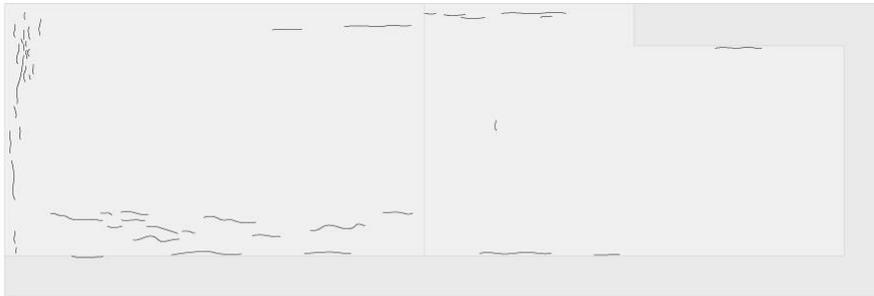
Baenziger 2

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. **Fisuras en mortero de reparación 3, 4 y 5 – Setenta y dos (72) horas después de fundición**



Baenziger 3



Baenziger 4



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Fisuras debido al exceso de llana en la zona circulada que se le dio al acabado del mortero en la superficie.

Las fisuras siguen prevaleciendo en las uniones entre los bloques Baenziger y los morteros de reparación; en la mayoría de los especímenes se presentan fisuras en el borde, donde los morteros donde alcanzan un espesor de 6 cm. Las fichas técnicas de los morteros indican espesores de hasta 5 cm.

Figura 59. **Bloques Baenziger – Setenta y dos (72) horas después de fundición de morteros**



Centro de investigaciones de Ingeniería – Sección de estructuras – USAC

Fuente: elaboración propia.

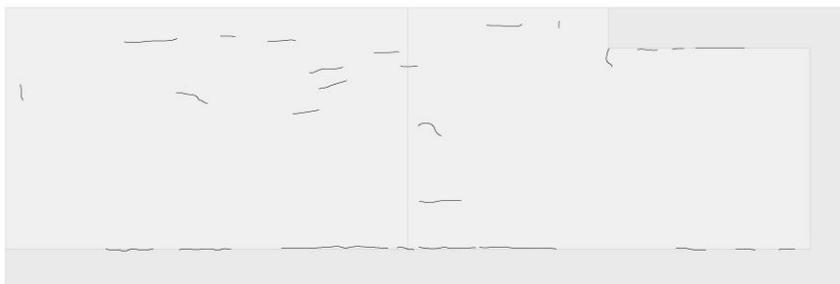
4.4.4.4 Fisuras en mortero de reparación quince (15) días después de fundición

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de quince días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 60. **Fisuras en mortero de reparación – Quince (15) días después de fundición**



Baenziger 1



Baenziger 2

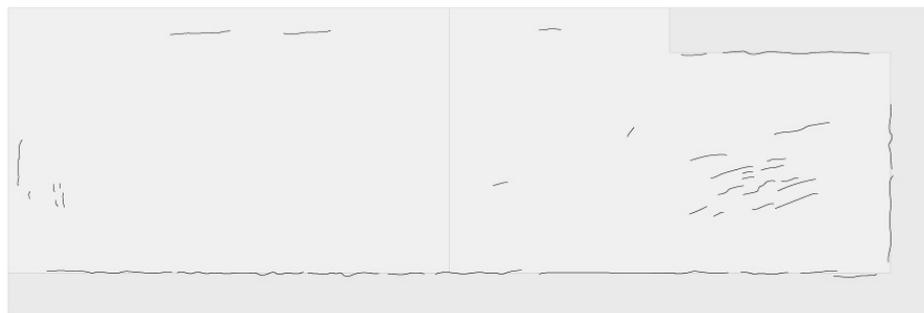


Baenziger 3

Figura 60. **Fisuras en mortero de reparación – Quince (15) días después de fundición (continuación)**



Baenziger 4



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Figura 61. **Bloques Baenziger – Quince (15) días después de fundición de morteros**



Continuación Figura 61.



Fuente: elaboración propia.

4.4.4.5 Fisuras en mortero de reparación treinta y cinco (35) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de treinta y cinco días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 62. **Fisuras en mortero de reparación – Treinta y cinco (35) días después de fundición**



Baenziger 1



Baenziger 2



Baenziger 3



Baenziger 4



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Bloques Baenziger – Treinta y cinco (35) días después de fundición de morteros**



Fuente: elaboración propia.

La mayoría de las fisuras no es visible en las fotografías, debido a que su espesor y profundidad no son lo suficientemente grandes para ser detectadas a simple vista. Hay que realizar un cuidadoso acercamiento para poder identificarlas.

Los bloques han estado a la intemperie, pero aún no ha habido precipitación pluvial considerable en el lugar.

4.4.4.6 Fisuras en mortero de reparación sesenta y cuatro (64) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de sesenta y cuatro días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 64. Fisuras en mortero de reparación – Sesenta y cuatro (64) días después de fundición



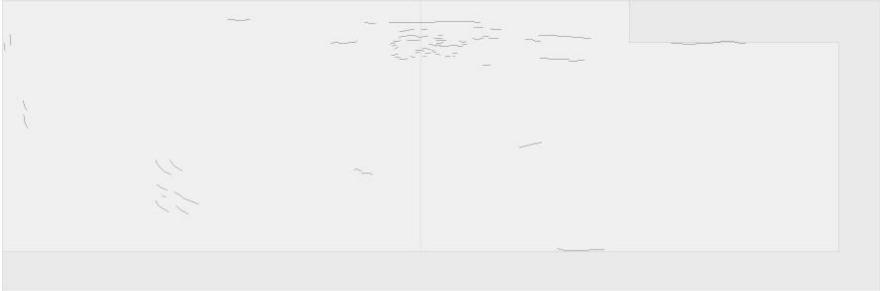
Baenziger 1



Baenziger 2

Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Fisuras en mortero de reparación – Sesenta y cuatro (64) días después de fundición**



Baenziger 3



Baenziger 4



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Bloques Baenziger – Sesenta y cuatro (64) días después de fundición de morteros**



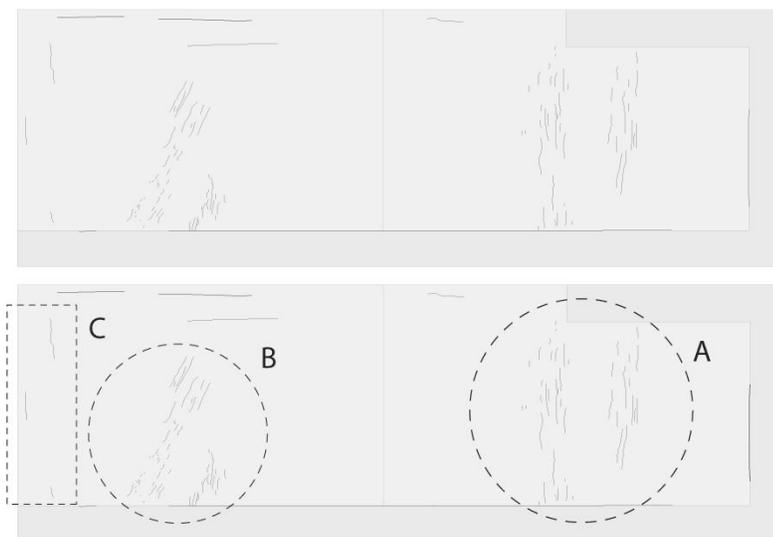
Fuente: elaboración propia.

En el día sesenta (60) y sesenta y cuatro (64), se presentó lluvia en el lugar de estudio de los bloques, lo cual provocó que la superficie del mortero de evaluación 4 agravara las fisuras ya existentes.

4.4.4.7 Fisuras en mortero de reparación 1, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de ciento cuarenta y dos días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 66. **Fisuras en mortero de reparación 1 - ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.**



Baenziger 1

Fuente: elaboración propia.

En las zonas enmarcadas se hace una agrupación de las fisuras que se presentaron sobre la superficie del mortero de reparación. La zona A corresponde a las fisuras originadas por exceso de llana, ya que se quitó la humedad existente que provocó la aparición de las mismas al darle el acabado final. Estas surgieron en las primeras horas de fraguado (-72 horas).

En la zona B se puede observar las fisuras originadas por la contracción por secado superficial, donde la pérdida de agua por evaporación en los primeros días y el rozamiento de la llana durante su terminación, provocó que se originaran las fisuras muy similares a la de la zona A.

En la zona C se ven las fisuras donde la altura del mortero alcanza los 60 mm (+2 pulgadas). Se sobrepasa la capacidad para lo que fue diseñado en cuestión de espesor. Las demás fisuras son el reflejo del comportamiento del material en zonas de declive.

Figura 67. **Bloque Baenziger 1 - 142 días de evaluación**



Fuente: elaboración propia.

4.4.4.8 Fisuras en mortero de reparación 2, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de ciento cuarenta y dos días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 68. Fisuras en mortero de reparación 2



Baenziger 2

Fuente: elaboración propia.

En la zona A se ve una fisura ocasionada por la concentración de tensiones que se genera en la zona de reducción del bloque Baenziger. Esta fisura es común encontrarla en esquinas de ventanales, tapaderas, vanos, donde no se ha provisto un refuerzo para esta concentración de tensiones.

Las fisuras ubicadas en la zona B hicieron su aparición en las primeras 72 horas después del fraguado, donde el material es sometido al cambio de pendiente. Las fisuras por asentamientos diferenciales fueron la causa principal. Partes minúsculas del material se encontraban en estado plástico y por su contraparte ciertas zonas se han endurecido. Las fisuras son muy pequeñas casi imperceptibles a simple vista.

En la zona C se ven las fisuras donde se sobrepasa el espesor indicado en ficha técnica por el proveedor.

Figura 69. **Bloque Baenziger 2 - 142 días de evaluación**

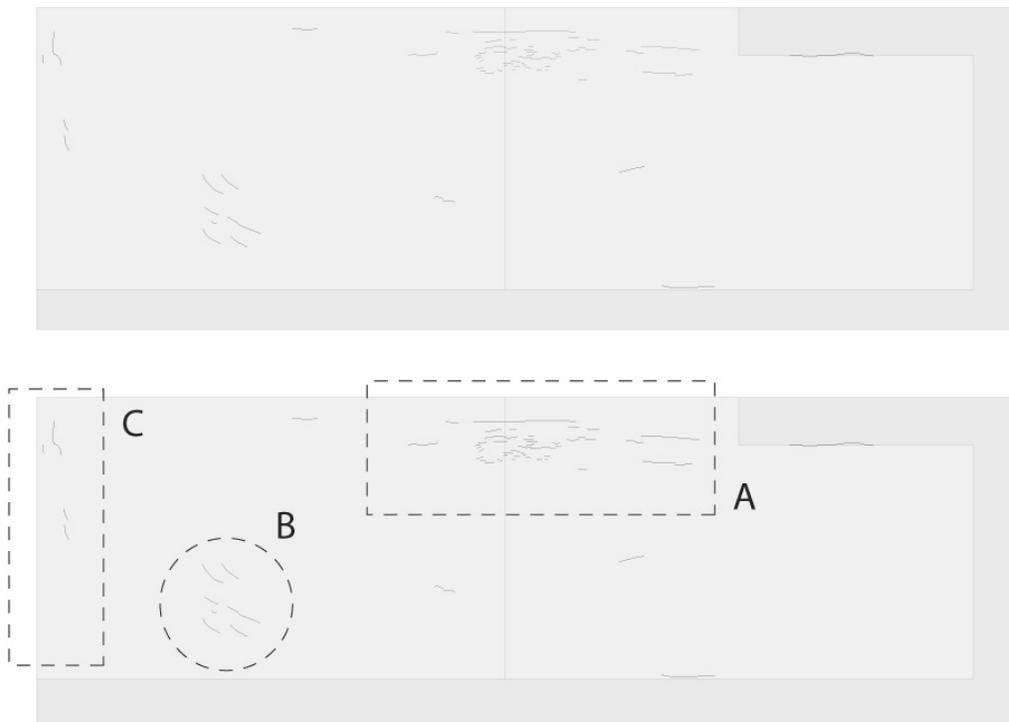


Fuente: elaboración propia.

4.4.4.9 Fisuras en mortero de reparación 3, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de ciento cuarenta y dos días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 70. Fisuras en mortero de reparación 3



Baenziger 3

Fuente: elaboración propia.

El mortero de reparación 3 en la zona A presenta fisuras debido a los asentamientos diferenciales por el cambio de espesores y contracción por secado. Cuando el efecto del curador superficial ha mermado se hacen evidentes las fisuras.

En la zona B se ven fisuras sobre el límite de la capacidad del espesor indicada por la ficha técnica del producto. Aparece desde las 72 horas; cuando la contracción por secado afecta esta zona, las fisuras no son tan evidentes. En la zona C el material muestra las fisuras en zonas de alto espesor, por lo que tiende a fisurarse.

En las zonas de unión entre el bloque y mortero es donde mejor se comportó de los 5 especímenes evaluados, a pesar de que no hay una superficie rugosa debido a que el chorro de arena se aplicó únicamente sobre la superficie, razón por la cual la fisuración es evidente en los morteros de reparación.

Figura 71. **Bloque Baenziger 3 - 142 días de evaluación**



Fuente: elaboración propia.

4.4.4.10 Fisuras en mortero de reparación 4, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de ciento cuarenta y dos días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 72. Fisuras en mortero de reparación 4



Baenziger 4

Fuente: elaboración propia.

Para la evaluación de este mortero se dividió todo el bloque por un degradé en escala de grises. El mortero es el que más se ha visto afectado ante los fenómenos meteorológicos y a la geometría del bloque Baenziger. Este mortero es bicomponentes. En toda la unión del bloque con el mortero en las orillas hay un evidente desprendimiento. No hay adherencia entre las partes.

En la zona A, donde el mortero sobrepasa el espesor indicado por el fabricante, hay una serie de fisuras y microfisuras que a lo largo del tiempo se convertirán en fisuras, debido a que no están muertas. Se detectó que la resistencia a la permeabilidad es muy baja, por lo que hay humedad dentro del bloque. Sobre las zonas B, C y D las fisuras son muy evidentes. Pasan a lo largo del bloque. En un inicio fueron microfisuras que con el tiempo llegaron a ser fisuras. Se extendieron hasta unirse a las más próximas y formar una especie de nido de fisuras. La situación se agravó al presentarse lluvia en el lugar y vientos fuertes. En la zona E se ven concentraciones de tensiones, retracción y dilatación térmica, así como contracción por secado en la zona estrecha del bloque.

Figura 73. **Bloque Baenziger 4 - 142 días de evaluación**

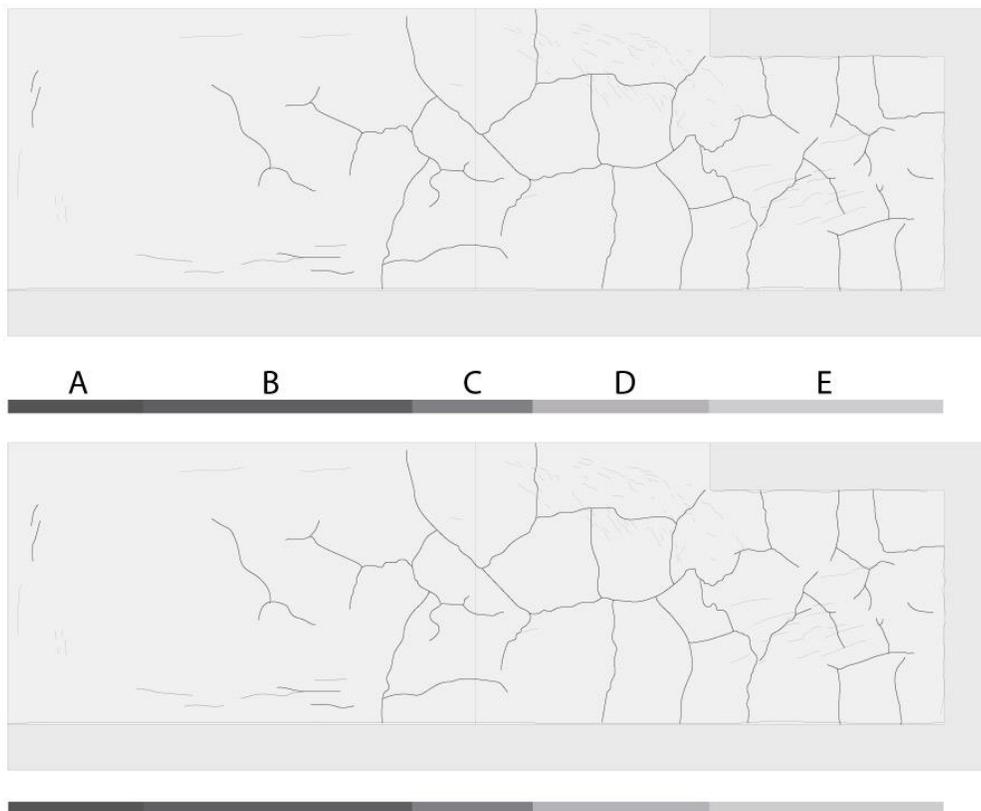


Fuente: elaboración propia.

4.4.4.11 Fisuras en mortero de reparación 5, ciento cuarenta y dos (142) días después de fundición.

A continuación, se enlistan las fisuras presentadas después de ciento cuarenta y dos días después de la fundición de los morteros de reparación sobre los bloques Baenziger.

Figura 74. Fisuras en mortero de reparación 5



Baenziger 5

Fuente: elaboración propia.

En la zona A del mortero diseñado en espesores mayores se observa que su comportamiento no es tan lesivo como en las demás zonas. Es similar a los primeros tres (3) especímenes. Este mortero también es bicomponentes, tal como el anteriormente evaluado (mortero 4).

En las zonas B, C y D la mayoría de fisuras son por contracción por secado y retracción térmica. El espécimen, al ser sometido a cambios bruscos de temperatura y lluvias, se ve afectado.

La peor zona es la E, ya que la dilatación y retracción térmica por la reducción volumétrica del bloque hacen que se restrinja el movimiento y se produzcan tensiones que sobrepasan el módulo de elasticidad del mortero, lo que se traduce en fisuras sobre la superficie.

Figura 75. **Bloque Baenziger 5 - 142 días de evaluación**



Fuente: elaboración propia.

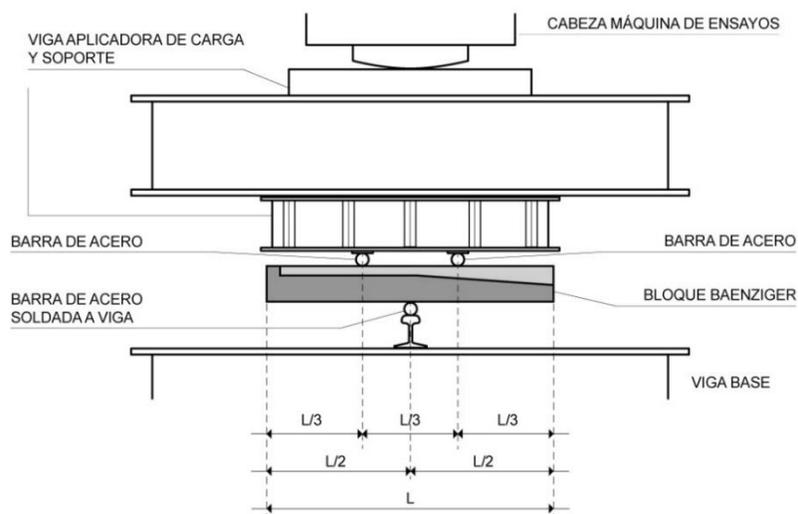
4.4.5 Ensayo a flexión a los bloques

Para la realización del ensayo se alude a la Norma Técnica Guatemalteca - NTG 41017 h8 - Método de ensayo. Determinación del esfuerzo de flexión en el concreto (Utilizando una viga simplemente soportada con carga al centro de la luz), ya que se invirtió la posición de la aplicación de la carga para lograr una fractura de los bloques por la mitad. El apoyo está al centro de la luz; la tensión máxima es sobre el centro del bloque.

4.4.5.1 Descripción del ensayo

Se usó el método de carga en los tercios de la luz, con bloques de aplicación de carga que aseguraron que las fuerzas fueran perpendiculares a la cara del espécimen y aplicadas sin excentricidad.

Figura 76. **Diagramación del aparato preparado para ensayo a flexión de concreto por el método de carga en los tercios de la luz**



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. **Bloque Baenziger en máquina de ensayo**



Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo se utilizó una máquina universal hidráulica de rango 5000 lb (2267,96 kg) y un deformímetro de 0 – 25 mm +/- 0,01 mm.

Figura 78. **Deformímetro en ensayo a flexión**



Fuente: elaboración propia.

Para el ensayo se centró y niveló el bloque en la máquina. Previamente se realizaron los trazos sobre la superficie del mortero; en los bordes se colocaron deformímetros para medir la deflexión debida a la flexión a medida que le fue aplicada la carga. Una vez colocado el bloque se procedió a aplicar carga, la cual aumentó de forma constante de 5 000 lb en 5 000 lb (2 267,96), desde cero hasta llegar a la carga de falla.

4.4.5.2 Resultados del ensayo

En las siguientes s se muestran los valores de las cargas y la deformación máxima que se obtuvo de cada uno de los bloques.

Tabla XXI. **Datos obtenidos del ensayo a flexión en bloques**

Tipo	Carga máxima (lb)	Deflexión máxima (mm)
Mortero 1	8 200	1,7
Mortero 2	9 100	2,1
Mortero 3	8 100	1,9
Mortero 4	8 000	1,6
Mortero 5	9 500	1,7

Fuente: elaboración propia. Los datos fueron obtenidos de las máquinas de ensayo utilizadas en el centro de investigaciones, sección de estructuras.

El estudio de los esfuerzos de flexión es complejo en este tipo de ensayo, debido a que los efectos de las fuerzas aplicadas son variables de una a otra

sección del bloque. Además, la sección del bloque no tiene un componente homogéneo en su sección transversal. Se debe tener presente el concreto del bloque, el mortero de reparación y las barras de refuerzo por temperatura.

Figura 79. **Bloque 5 ensayado a flexión**



Fuente: elaboración propia.

En los resultados de las pruebas se pudo apreciar si los bloques habían sido afectados por las fisuras al convertirse en permeables a la humedad, ya que era visible la sección media de los mismos; el único bloque que presentó problemas con respecto a este tipo de afección fue el bloque Baenziger 4. Desde el inicio de las pruebas ha sido el mortero de reparación con resultados más deficientes en comparación con los demás.

Las distintas fisuras sobre la superficie del mortero provocaron la filtración de agua y humedad, por lo que se tomó una muestra para colocarla en el horno de secado para determinar el contenido de humedad.

Figura 80. **Bloque Baenziger 4 ensayado a flexión, con sección de mortero tomada para muestra al horno**



Fuente: elaboración propia.

Se determinó el contenido de humedad con la relación expresada como porcentaje del peso del agua en la masa del mortero de reparación. Se secó el espécimen hasta que se obtuviera un peso constante en un horno controlado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

Tabla XXII. **Datos sobre espécimen sometido al horno**

Hora	Peso (gramos)	
12:05	298,6	Material húmedo
13:06	291,4	Material seco

Fuente: elaboración propia.

Se calcula la humedad de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

W = Es el contenido de humedad (%)

W_w = Peso del agua

W_s = Peso seco del material

Material húmedo – material seco = Peso del agua

$$298,6 - 291,4 = 7,2 \text{ gramos}$$

$$W = \frac{7,2}{291,4} = 0,0247 * 100 = 2,47 \%$$

CONCLUSIONES

1. La formulación con microsílíce dio una contribución positiva con respecto a la limitación de la contracción plástica (mortero de reparación 2), mientras que otros tipos contribuyeron principalmente a una mayor edad antes de la contracción por secado, mortero de reparación 5, que fue reforzado con fibras sintéticas.
2. El análisis con respecto al craqueo temprano, patrón de fisuras (número y ancho de fisuras) y la separación de los bordes, es debido a la aparición de fisuras generadas por retracción hidráulica durante el fraguado. Son las que predominan en la fase de evaluación de 1 – 24 horas. Los morteros 1, 2, 3 y 5 tienen una buena composición química y reacción con el agua de inicio o componente de mezclado.
3. El exceso de llana sobre la superficie de los morteros de reparación hizo que las fisuras fueran evidentes a partir de las 72 horas de fraguado. Se confirmó que, aunque tengan propiedades que mengüen la fisuración en los morteros de reparación, se debe tener especial cuidado con el control de humedad sobre la superficie para evitar este problema tan común y el curado superficial. Como no son fisuras que afecten la integridad de los elementos estructurales, dan un mal aspecto a la misma.
4. En los bordes del bloque Baenziger donde se dejó un acabado liso y no se aplicó un chorro de arena o un elemento abrasivo para preparar la superficie del bloque para la unión entre partes bloque-mortero se obtuvo

falta de adherencia al sustrato. Se confirmó que, si no se prepara la superficie adecuadamente, la reparación será ineficaz. Al realizar la prueba a flexión se observó la buena adherencia entre las partes donde la superficie estaba rugosa.

5. Los morteros de reparación 1, 2 y 3 son aceptables mediante esta prueba, dado que la homogeneidad de los elementos es buena. Tanto la rigidez como la resistencia y adherencia que presentaron durante las pruebas es la adecuada al momento de formar parte de una estructura.
6. Los especímenes 4 y 5 son descartados, ya que presentaron excesiva fisuración. En el caso del mortero 4 se rechaza totalmente, ya que tiene un problema grave de filtración de humedad donde presentó un 2,47 % con respecto a su peso seco. Esto lo hace inaceptable para su uso en la construcción.
7. El mortero de reparación 2 presentó la fisura por concentración de tensiones en la esquina donde se simula el vano de una ventana. Los otros morteros no presentaron este tipo de problema. No se le aplicó una carga externa, por lo que en las reparaciones es necesario prever acero para que soporte este tipo de esfuerzos.
8. Los morteros 2 y 3, a pesar de sobrepasar lo indicado por el fabricante en cuanto a espesor máximo de reparación, tuvieron una aceptable reacción al no presentar una fisuración excesiva.

RECOMENDACIONES

1. Para la fabricación de los bloques Baenziger, utilizar la forma mostrada en este estudio (formaleta de madera), ya que se realizaron otros ensayos en donde no se obtuvo buenos resultados. Este es el más adecuado para el vertido, compactación y desencofre del bloque.
2. Al momento de aplicar los morteros de reparación sobre los elementos estructurales por reparar, se recomienda curar la superficie lo suficiente para mantener la humedad en el estado plástico. Es en esta fase donde se genera la mayoría de microfisuras que tienden ser el principal problema a lo largo del trayecto. La curación debe realizarse con minucioso cuidado y las veces que se considere necesario, según el ambiente en el que se realicen los trabajos.
3. Los espesores mínimos y máximos indicados por los proveedores deben ser respetados, ya que los materiales se fisuran al sobrepasar estos límites. Si se necesita espesores más rigurosos se debe recurrir a la adición o utilización de otros métodos.
4. Si se realiza una reparación con un mortero, es un aviso si en las primeras horas o días aparecen fisuras, como fue en el caso del espécimen 4. La situación del mismo no mejorará, sino que se agravará con el transcurrir del tiempo. Es mejor quitar lo aplicado y volver a realizar el procedimiento con otro producto de mejor calidad.

5. La utilización de fibras sintéticas no es muy eficaz en este tipo de fisuramiento, por lo que se considera tomar en cuenta el uso de fibras de carbono o fibras minerales, debido a sus características tanto físicas como químicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for Testing and Material. *Cement, Lime, Gypsum* (ASTM Standards on disk, Volume 04.01). USA West Conshohocken, PA: ASTM, octubre, 2004, 874 p.
2. American Society for Testing and Material. *Standard specification for standard sand*, in Annual Book of ASTM Standards. USA West Conshohocken, Pa: ASTM C778. 2000, 3 p.
3. A. SCHIEGG, Y H. BAENZIGER. *Efficient testing of fibers with the Baenziger block*, (Pruebas de fibras eficientes con el bloque Baenziger) in Proceedings of the Conference: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting. Sudáfrica Cape Town, 2006, 509 p.
4. DUSINBERRE, D.M. Numerical Methods for Transient Heat Flow, Transactions, American Society of Mechanical Engineers. (Métodos numéricos para el flujo de calor transitorio, transacciones, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) V. 67. November 1945, 991 p.
5. GIANI, R., NAVARRETE, B, Y BUSTOS, J. *La Retracción Autógena y su Relación con la Tendencia a la Fisuración a Temprana Edad en Pavimentos de Hormigón*. Revista de la Construcción, vol. 7, núm. 2, 2008, 71 p.

6. HOSKINS, B.E., FOWLER, D.W, Y MCCULLOUGH, B. F. *An Evaluation of Repair Techniques Used for Uncontrolled Longitudinal Cracking and Failed Longitudinal Joints*. (Una evaluación de las técnicas de reparación utilizadas para el agrietamiento longitudinal no controlado y las juntas longitudinales fallidas). Research Report 920-4, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin USA, 1991, 21 p.
7. RODLER, DJ., D.P. WHITNEY., D.W. FOWLER Y D.L. WHEAT. *Repair of Cracked Concrete with High Molecular Weight Methacrylates. Polymers in concrete, advances and applications*, (Reparación de hormigón fisurado con metacrilatos de alto peso molecular. Polímeros en hormigón, avances y aplicaciones.). SP-116, American Concrete Institute, Detroit, 1989, 102 p.
8. SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. *Tecnología del concreto y del mortero*. 5 edición. Santa Fe de Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda., 2001. 349 p.
9. T. GILLESPIE T. *New method to predict performance of concrete repair materials in the field*. (Nuevo método para predecir el rendimiento de materiales de reparación de concreto en campo), in Proceedings of the ICRI Spring Convention, Bali, Indonesia, 1999, 28 p.
10. TOIRAC, CORRAL, José. *Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón origen y prevención*. Ciencia y Sociedad, vol. 29, núm. 1, enero. marzo, 2004, pp. 72-113, 114 p.

11. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Laval University Quebec. *Development of a Test Method to evaluate Cracking Tendency of Repair Materials, Phase I Report*, (Desarrollo de un método de prueba para evaluar la tendencia al agrietamiento de los materiales de reparación, informe de la fase 1), Denver Colorado, USA. March 2005, 52 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Datos meteorológicos

Durante el control de los bloques se obtuvieron datos los cuales son un promedio del día en que se reporta.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
1	19,5	76	0	6,3
2	19,6	72	0	9,2
3	19,4	67	0	4,5
4	19,1	77	0	6,1
5	19,7	78	0	5,8
6	19,6	76	0	7,9
7	20,5	55	0	10
8	19,8	68	0	12,9
9	19,9	71	0	10,8
10	20,1	68	0	9,8
11	18,7	60	0	12,1
12	18,2	62	0	13,7
13	17,3	61	0	14,3
14	18,1	58	0	10
15	19,5	65	0	11,4

Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
16	19,8	67	0	13,7
17	18,3	75	0	12,6
18	19,4	70	0	7,2
19	19,8	71	0	11,3
20	20,4	73	0	13,5
21	19,6	78	0,51	12,4
22	19,2	76	0	8,4
23	18,3	75	0	11,3
24	18	72	0	12,6
25	17,2	67	0	9,8
26	17,1	62	0	7,4
27	18,1	59	0	12,1
28	17,6	57	0	18,4
29	23,2	65	0	15,2
30	18,6	61	0	8
31	17,7	61	0	7
32	18,2	65	0	15
33	18,6	57	0	14,3
34	19,6	67	0	7,9
35	19,4	71	0	7,2
36	19,7	74	0	6,6
37	19,7	78	0	5,9
38	19,7	71	0	7,2

Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
39	21,1	78	0	5,8
40	21	75	0	5,1
41	19,3	73	0	6
42	20,6	66	0	8,3
43	21,2	75	0	9,1
44	22,1	73	0	6,4
45	24,5	65	0	7,9
46	22	56	0	9,8
47	20,7	59	0	12,6
48	22	55	0	16,7
49	20,6	64	0	9,3
50	20,4	60	0	10,4
51	19,9	60	0	11,6
52	19,2	55	0	15,6
53	19,8	60	0	17,5
54	19,6	61	0	9,7
55	20,1	68	0	11,4
56	20,4	63	0	12,7
57	20,3	70	0	9,3
58	20,9	66	0	9,7
59	20,4	73	0	9
60	19,4	70	1,52	12,6
61	20,9	68	0	7,9

Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
62	21,6	71	0	7,1
63	22,7	71	0	8,4
64	20,3	77	7,11	6,3
65	20,9	75	0	6,9
66	21,8	72	0	6,3
67	21,6	70	0	7,1
68	21,9	69	0	10,6
69	22,3	71	0	9,2
70	21,4	75	0	9,2
71	21,6	73	7,62	8,4
72	20,5	79	0	7,1
73	20,8	82	0	6,6
74	19,5	76	0	9,2
75	19,6	72	0	11,4
76	20,7	71	0	10,9
77	21,1	69	0	9,5
78	20,8	74	0	12,6
79	20,8	78	0	9,3
80	20,4	87	15,49	6,8
81	20,4	83	5,59	12,6
82	21,1	79	0	9,3
83	20,1	84	0	10
84	20,6	81	23,37	12,1

Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
85	21,5	82	0	9,2
86	21,4	80	1,02	8,7
87	21,8	78	0	11,3
88	20,8	85	0	7,2
89	21,3	83	0	9,3
90	20,9	84	0	6,8
91	19,8	86	6,6	13,4
92	21,1	78	0	10
93	21,3	78	0	12,6
94	20,8	85	0	8
95	20,8	80	38,1	10,6
96	19,7	83	6,35	10,6
97	19,8	82	48,55	11,9
98	20,6	82	0	9
99	20,3	83	0	7,6
100	18	83	0	7,6
101	20,6	82	0,25	12,4
102	20,9	79	0	8,4
103	20,8	82	0	7,6
104	21,1	82	1,52	9,5
105	20,7	83	8,89	9,5
106	21,1	79	1,27	10,6
107	21,2	79	0	10,8

Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
108	20,6	82	0	7,1
109	20,1	86	1,27	8,9
110	18,4	90	0	8,2
111	18,8	89	0	9
112	20	85	0	9
113	20,2	86	5,08	7,9
114	19,7	83	0	8,7
115	19,7	85	0	10,8
116	18,8	89	0	8,9
117	18,9	87	40,13	9,1
118	19,3	88	0	8
119	18,7	91	0	8,9
120	19,2	88	2,79	8,7
121	18,6	92	43,69	7,1
122	18,9	88	0	9,2
123	19,3	85	0	9,2
124	20,3	80	0	9,2
125	21,3	83	1,27	8,5
126	20,1	79	0	10
127	19,9	82	0	10,9
128	18,9	85	10,67	9,7
129	19,3	90	7,62	9,2
130	23,1	73	0	6,5

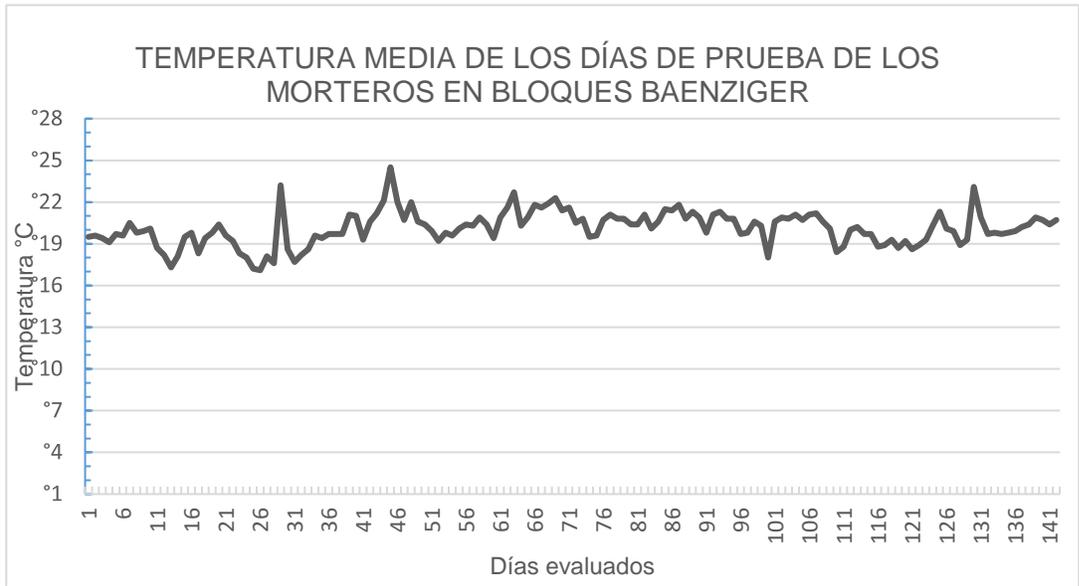
Continuación Apéndice 1.

Día	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)	V, Promedio del viento (km/h)
131	20,9	73	0	11,3
132	19,7	85	0	9,5
133	19,8	77	10,41	11,3
134	19,7	74	0	7,4
135	19,8	80	0	11,3
136	19,9	79	1,27	11,3
137	20,2	80	0,25	12,2
138	20,4	79	0	10
139	20,9	75	0	7,8
140	20,7	72	0	6,5
141	20,4	74	0	10
142	20,7	74	0	10,7

Datos obtenidos en campo y en la estación meteorológica de la ciudad de Guatemala

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Gráfico de la temperatura registrada durante la evaluación de morteros



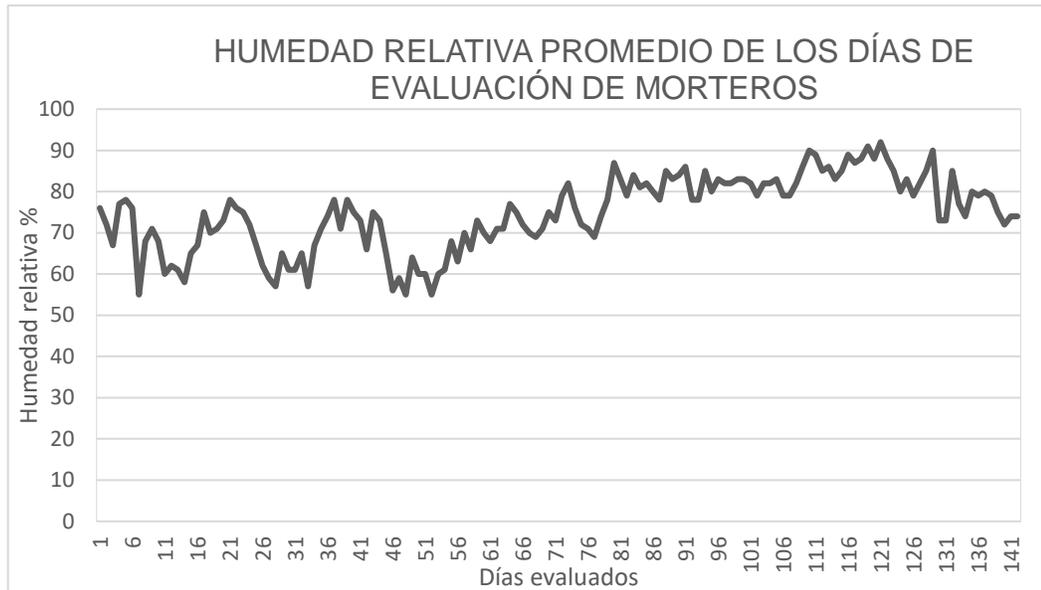
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resumen de datos sobre la temperatura de los días de prueba de los morteros de reparación

Temperatura (°C) Resumen - Datos estadísticos	
Valor máximo	24,50
Valor mínimo	17,10
Moda	19,70
Promedio	20,12
Varianza	1,48
Desviación Estándar	1,22

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Gráfico de la humedad relativa registrada durante la evaluación de morteros



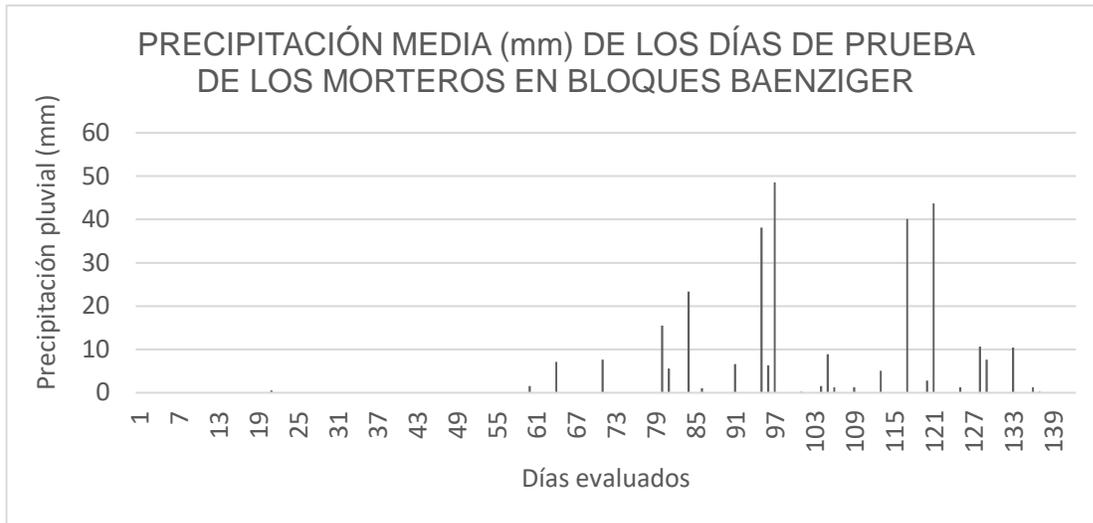
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Resumen de datos sobre la humedad relativa de los días de prueba de los morteros de reparación.

Humedad relativa (%) Resumen - Datos estadísticos	
Valor máximo	92,00
Valor mínimo	55,00
Moda	82,00
Promedio	74,68
Varianza	80,36
Desviación Estándar	8,96

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Gráfico de la precipitación pluvial registrada durante la evaluación de morteros.



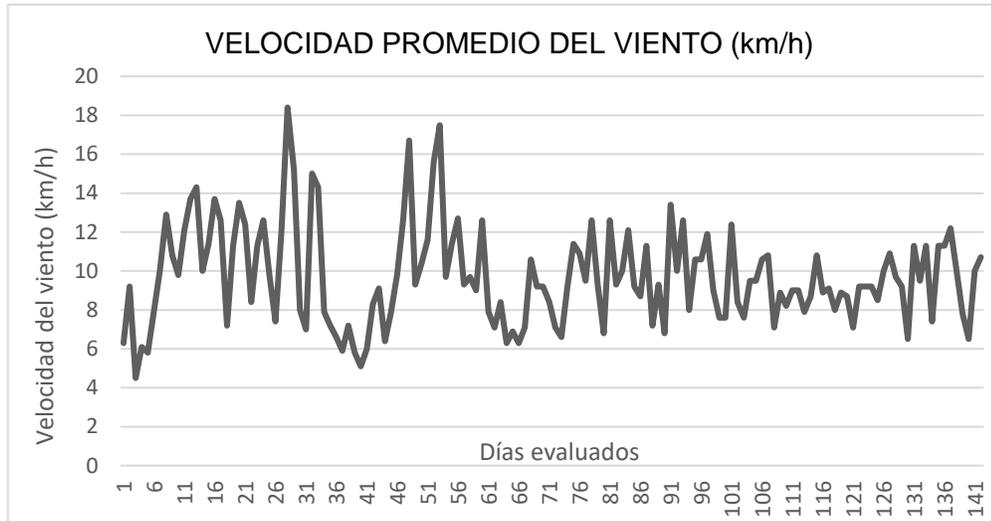
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Resumen de datos sobre la precipitación pluvial de los días de prueba de los morteros de reparación.

Precipitación (mm) Resumen - Datos estadísticos	
Valor máximo	48,55
Valor mínimo	0,00
Moda	0,00
Promedio	2,10
Varianza	57,16
Desviación Estándar	7,56

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Gráfico de la velocidad del viento registrada durante la evaluación de morteros



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Resumen de datos sobre la velocidad del viento de los días de prueba de los morteros de reparación

Precipitación (mm) Resumen - Datos estadísticos	
Valor máximo	48,55
Valor mínimo	0,00
Moda	0,00
Promedio	2,10
Varianza	57,16
Desviación Estándar	7,56

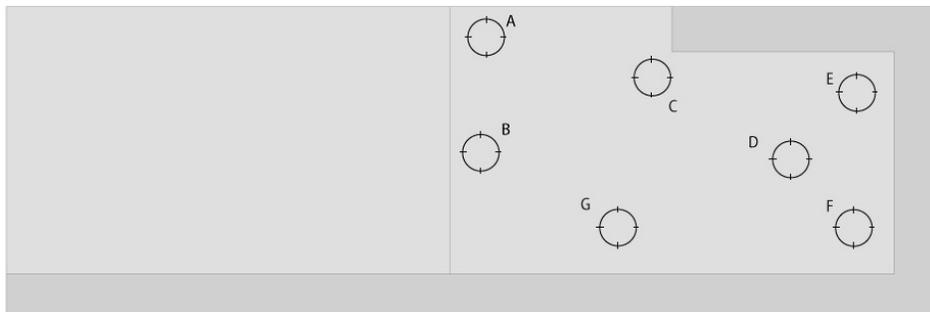
Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Evaluación adicional. Extracción de testigos.

Si las fisuras no aparecen durante el período definido sobre la superficie del mortero de reparación, se puede realizar una extracción de testigos para la evaluación de fisuras internas, para la rotura a compresión o bien para determinar la adherencia al sustrato base.

Ubicaciones sugeridas para extracciones



Fuente: Propuesta de ensayo D, Taylor - Ilustración: Elaboración propia

Los núcleos pueden ser tomados como muestras durante las edades de 7, 14, 28 o n días según el estudio que se esté realizando, ya que se pueden obtener datos como el coeficiente de absorción de agua de los núcleos obtenidos. Los morteros de con alta contracción pueden perder adherencia al transcurso del tiempo, por lo que este ensayo puede ser una buena alternativa.

Continuación Anexo 1. Ejemplo de hoja de resultados

HOJA DE RESULTADOS BLOQUE BAENZIGER

DATOS

Producto de prueba: _____ No, Hoja: _____
No, Bloque Baenziger: _____ No, Proyecto: _____
Temperatura ambiente: _____ Lluvia: _____
Humedad del aire: _____
Velocidad del viento: _____
Lugar de almacenamiento: _____

FISURAS

Fecha y hora	Fisuras	Longitud (mm)	Grosor (mm)
	a		
	b		
	c		
	d		
	e		
	f		
	g		
	h		
	i		
	j		

