



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

**SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA,
PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES**

Michella Ciani Hidalgo

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA,
PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MICHELLA CIANI HIDALGO

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 13 de mayo de 2013.

Michella Ciani Hidalgo



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, 12 de noviembre de 2015

Ingeniero
José Gabriel Ordóñez Morales
Jefe del Área de Materiales de Construcción
De la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente


Señor Coordinador:

De la manera más atenta y por este medio, le informo a usted que, como asesor de la estudiante universitaria de la carrera de Ingeniería Civil, Michella Ciani Hidalgo, procedí a revisar el trabajo de graduación, cuyo título es SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES

En la virtud, doy por aprobado y revisado el trabajo de graduación de la estudiante, Michella Ciani Hidalgo.

Sin otro particular me es grato suscribirme de usted

Atentamente,


Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Colegiado No. 2089
Asesor

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
11 de mayo de 2016

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación SISTEMA PANEL ESTRUCTURA-PILASTRA METÁLICA, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Michella Ciani Hidalgo quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAN A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES:
USAC

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

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





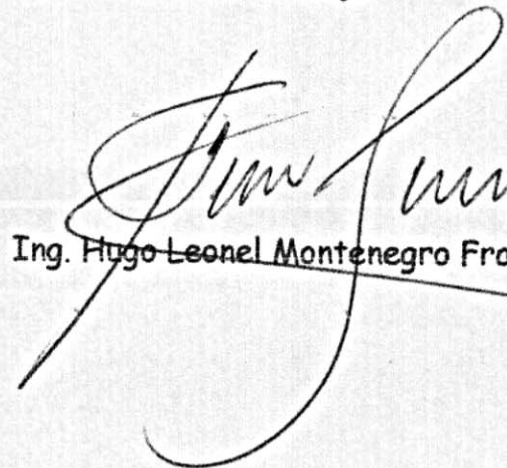
USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
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 del Coordinador del Departamento de Planeamiento Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Michella Ciani Hidalgo, titulado **SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

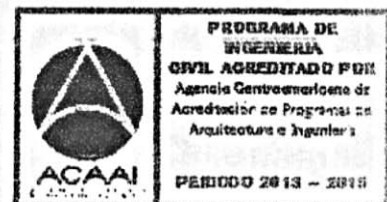

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2016

/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Ref.DTG.D.419.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **SISTEMA PANEL ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES**, presentado por la estudiante universitaria: **Michella Ciani Hidalgo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, septiembre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser un pilar de fortaleza en mi vida y pacientemente escucharme y ayudarme cuando no podía yo sola.
- Mis padres** Juan Ciani y María Bertha de Ciani, por todo el amor y apoyo que me han brindado y por el ejemplo que han sido para mi vida.
- Mis hermanos** Ana Lucía, Alba María y Pietro Ciani, por su amor y comprensión, todo su apoyo y ser siempre mis mejores amigos cuando los necesité.
- Mi esposo** Emanuel Zuleta, por ser compañero y apoyo a lo largo de mi carrera, por haber sido la primer cara conocida al inicio y haber permanecido allí para mí, en las buenas y en las malas hasta el día de hoy.
- Mi hijo** Adrián Rafael Zuleta, por ser un motor de inspiración y con su inocencia impulsarme a ser una mejor persona siempre.

Mi asesor

Mario Corzo, por su increíble paciencia y apoyo en el proceso del trabajo de graduación y por todos sus consejos.

Revisor de Escuela

Gabriel Ordóñez, por sus comentarios y por haberme brindado su tiempo para que pudiera entregar un buen trabajo de graduación.

.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por todos los conocimientos que adquirí en mi paso por sus edificios y salones.
Mis amigos de la Facultad	María Vásquez, Luis Miguel Bracamontes, Iván Vielman, Elmer Gálvez, María Fernanda Ramírez, Evelyn Contreras, Helen Castañeda, Diego Seisdodos, José Bolívar, José Valdés, Felipe Rodas, Airon García, Lester Luna, Víctor Barrios, Rita Estrada, Daniel Herrera, Oscar Sincal, Fernando Espinoza y Andy Alonzo. Por todos los momentos que compartimos y por todos los buenos recuerdos que guardo de nuestra convivencia. Desearía haberlos conocido antes.
Sección de Estructuras	Por su invaluable ayuda al momento de la realización de los ensayos.
Don Fabio Sánchez	Por sus enseñanzas y su forma tan particular de enseñar y su apoyo siempre que fue necesario.
Rodolfo Letona	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Mampostería.....	1
1.1.1. Características de aceptación para los elementos de mampostería.....	2
1.1.1.1. Bloques de cemento.....	2
1.1.1.2. Bloques de ladrillo o barro cocido.....	8
1.1.1.3. Mortero.....	9
1.1.1.4. Acero de refuerzo.....	11
1.1.2. Mampostería confinada.....	11
1.1.3. Mampostería reforzada.....	12
1.2. Principios e hipótesis de diseño de mampostería	13
1.3. Cargas.....	14
1.3.1. Cargas muertas.....	15
1.3.2. Cargas vivas.....	16
2. HISTORIA DEL USO DE MAMPOSTERÍA EN GUATEMALA	17
2.1. Período prehispánico	17

2.2.	Período colonial	20
2.3.	Época moderna.....	21
3.	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE PANELES.....	33
3.1.	Sistema estructural tipo panel prefabricado.....	33
3.1.1.	Construcción prefabricada alzada (<i>Tilt-up</i>).....	34
3.1.1.1.	Montaje de los paneles.....	34
3.1.2.	Placa poste.....	38
3.2.	Sistema plataforma de encuadre (<i>Platform framing</i>)	41
3.2.1.	Características generales del sistema.....	42
3.2.2.	Comportamiento estructural.....	44
4.	CÓDIGOS DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN PARA ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA APLICADOS AL SISTEMA PLACA ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA.....	45
4.1.	Códigos internacionales de aceptación estructural de mampostería	45
4.1.1.	UBC-97.....	45
4.1.2.	IBC-2003.....	46
4.2.	Códigos nacionales de aceptación estructural de mampostería	48
4.2.1.	FHA.....	49
4.2.2.	AGIES.....	53
4.2.3.	Coguanor.....	55
5.	NORMAS DE ENSAYO DE PANELES ESTRUCTURALES	57
5.1.	Normativa para ensayos ASTM.....	57
5.1.1.	Ensayo a corte ASTM E564-95.....	57

5.1.2.	Ensayo de carga transversal ASTM E72-02.....	59
5.1.3.	Ensayo a compresión ASTM E72-02.....	61
5.1.4.	Ensayo a impacto ASTM E695-03.....	62
6.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PANELES ESTRUCTURALES Y PILASTRA METÁLICA.....	67
6.1.	Ensayo a flexión	67
6.1.1.	Equipo utilizado.....	69
6.1.2.	Datos y resultados obtenidos.....	69
6.1.2.1.	Análisis de los resultados.....	73
6.2.	Ensayo a compresión	75
6.2.1.	Equipo utilizado.....	76
6.2.2.	Datos y resultados obtenidos.....	77
6.2.2.1.	Análisis de los datos obtenidos.....	81
6.3.	Ensayo a corte.....	82
6.3.1.	Datos y resultados obtenidos.....	83
6.4.	Ensayo a impacto	86
6.4.1.	Equipo utilizado.....	87
6.4.2.	Datos y resultados obtenidos.....	88
6.4.2.1.	Análisis de los resultados.....	90
6.5.	Comparación entre los datos requeridos por las normas o recomendaciones de construcción y los datos obtenidos en ensayos	92

CONCLUSIONES 95
RECOMENDACIONES 99
BIBLIOGRAFÍA 101
APÉNDICE..... 105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Medición de bloques de concreto	6
2.	Crecimiento habitacional	29
3.	Gráfica comparativa de los materiales en el tiempo	31
4.	Proceso de posicionamiento de un panel de fachada	36
5.	Proceso de nivelado y aplomado de un panel de fachada.....	37
6.	Proceso de anclaje de un panel de fachada.....	37
7.	Sistema placa poste para muros perimetrales.....	39
8.	Configuración de un panel para fachada tipo placa poste	40
9.	Líneas de carga en una edificación de <i>platform framing</i>	41
10.	Componentes típicos de una construcción con plataforma de encuadre	43
11.	Sección lateral de un panel estructural terminado	48
12.	Esquema de armado de un panel típico	52
13.	Representación de las medidas de elongación en un ensayo a corte.....	58
14.	Esquema del ensayo por carga transversal.....	60
15.	Esquema del ensayo por carga de compresión.....	62
16.	Esquema del ensayo por carga de impacto para muestras verticales.....	65
17.	Ensayo por cargas transversales	68
18.	Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 1. Ensayo a flexión.....	71

19.	Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 2. Ensayo a flexión.....	72
20.	Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 3. Ensayo a flexión.....	73
21.	Agrietado del panel.....	74
22.	Ensayo por compresión	76
23.	Gráfica del comportamiento carga-deformación. Ensayo a compresión	79
24.	Gráfica del comportamiento carga-deformación. Ensayo a compresión	81
25.	Gráfica del comportamiento carga-deformación. Ensayo a corte	85
26.	Ensayo por carga de impacto	87
27.	Gráfica del comportamiento ensayo a impacto	90
28.	Grietas presentadas durante el ensayo de impacto	92

TABLAS

I.	Medidas principales normales de los bloques huecos de concreto.....	5
II.	Espesores mínimos de las paredes frontales y de los tabiques de los bloques	5
III.	Absorción máxima según peso.....	7
IV.	Resistencia mínima a compresión sobre área neta para bloques de concreto.....	8
V.	Proporciones volumétricas de los morteros para levantado	10
VI.	Propiedades requeridas de barras de refuerzo	11
VII.	Resumen de los diferentes estilos arquitectónicos	19
VIII.	Materiales predominantes en las paredes exteriores según departamento 1973.....	24

IX.	Tipo de materiales de paredes y porcentajes	25
X.	Material predominante en paredes exteriores para los censos de 1981 y 1994	26
XI.	Materiales predominantes en las paredes exteriores según departamento 2002	28
XII.	Tipo de material según área rural o urbana para el año 2002	30
XIII.	Espesores de muros mínimos según IBC-2003	47
XIV.	Espesores mínimos para muros de acuerdo a FHA	49
XV.	Cuantía de acero mínima por sección de área de muro bruta	50
XVI.	Acero requerido según la sección transversal bruta del panel para Norma FHA	51
XVII.	Cuantía de acero requerida según la sección transversal	55
XVIII.	Acero requerido según la sección transversal bruta del panel para Norma AGIES NSE 4-10	55
XIX.	Características físicas de los paneles	70
XX.	Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 1	70
XXI.	Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 2	71
XXII.	Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 3	72
XXIII.	Datos presentados en los ensayos	73
XXIV.	Promedio de los datos de los tres ensayos	74
XXV.	Registro de datos de ensayo bajo carga de compresión en la cara exterior.	78
XXVI.	Registro de datos de ensayo bajo carga de compresión en el canto de la muestra	80
XXVII.	Tabla de datos del comportamiento carga-deformación. Ensayo a corte.....	84
XXVIII.	Registro de datos de ensayo bajo carga de impacto	89
XXIX.	Comparación entre los datos obtenidos por medio de los ensayos y los datos requeridos	93

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
φ	Diámetro
σ _c	Esfuerzo de compresión
t	Espesor del mampuesto en el muro
°	Grados sexagesimales
±	Indica una variación de más o menos la cantidad indicada.
kg	Kilogramo
ksi	Kilogramos por pulgada cuadrada (<i>Kilogram square inch</i>).
lb	Libra
≥	Mayor o igual
≤	Menor o igual
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro cuadrado
π	Pi
ft ²	Pies cuadrados

%	Porcentaje
in	Pulgada
in²	Pulgada cuadrada
f'm*	Resistencia a compresión de los bloques en ensayos

GLOSARIO

Agregados	Grupo de partículas que se adiciona al concreto para aportar mayor solidez.
Alfarda	Cada uno de los maderos que se emplean en la armazón de los techos.
Área bruta	Área medida sin descontar los vacíos.
Área neta	Área media sin contar los espacios vacíos.
Arriostrar	Poner piezas que aseguran, puesta oblicuamente, la invariabilidad de forma de una armazón.
Bajareque	Pared de palos entretejidos con cañas y barro.
Bóveda	Habitación labrada, sin madera alguna, cuya cubierta o parte superior es de forma curvada.
Breiza	Elemento que se utiliza para amarrar dos piezas juntas, sin producir alteraciones en dichas piezas.
Carga	Fuerza a la que es sometido un elemento.

Crestería	Adorno de labores caldas muy utilizado en el estilo ojival. Este se colocaba en los caballetes y otras partes altas de los edificios.
Cuatrapeo	Colocación de puntos que proporcionan apoyo a algunas estructuras, generalmente en forma rectangular con cuatro puntos de apoyo.
Deflexión	Deformación producida por cargas flexionantes.
Deformación unitaria	Deformación producida por unidad de longitud.
Deformómetro	Dispositivo que mide y registra deformaciones.
Embebido	Elementos que se incorporan en el concreto antes que este fragüe, pero no forman parte de él.
Empírico	Perteneciente a la experiencia, fundado en ella.
Encofrado	Molde formado por tableros o chapas de metal, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después.
Entrepiso	Piso que se construye quitando parte de la altura de uno, entre este y el superior.
Eslinga	Cuerda gruesa provista de ganchos para levantar grandes pesos.

Esquema	Representación gráfica o simbólica de cosas materiales.
Estuco	Pasta de cal apagada y mármol pulverizado, con que se da de llana a las alcobas y otras habitaciones.
Fluencia	Acción y efecto de fluir.
Grout	Concreto de consistencia líquida con un asentamiento en el cono de Abraham igual o mayor a 200 milímetros y una resistencia a compresión a los 28 días de 140,7 kilogramos por centímetro cuadrado.
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
Joist	Elemento de acero conformado por dos piezas longitudinales unidas por un <i>zigzag</i> del mismo material. Que funciona como soporte para algunas estructuras.
Ladrillo	Masa de barro, en forma de paralelepípedo rectangular, que, después de cocida, sirve para construir muros, solar habitaciones.
Lechada	Masa muy suelta de cal o yeso, o de cal mezclada con arena, o de yeso con tierra, que sirve para blanquear paredes y para unir piedras o hiladas de ladrillo.

Poliestireno	Polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno monómero.
Portante	Dícese de la estructura o elemento estructural que es capaz de resistir cargas horizontales y verticales adicionales a las provenientes de su peso propio.
Replanteo	Acción y efecto de trazar en el terreno o sobre el plano de cimientos la planta de una obra ya estudiada y proyectada.
Rural	Perteneciente o relativo a la vida del campo y a sus labores.
Saledizo	Parte que sobresale de la pared maestra.
Sillar	Que no ocupa todo el grueso del muro y tiene igual grueso en el paramento que en tizón.
Tapia	Cada uno de los trozos de pared que de una sola vez se hacen con tierra amasada y apisonada en una horma.
Urbano	Perteneciente o relativo a la ciudad.
Vigueta	Elemento prefabricado longitudinal resistente, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o cubiertas.

RESUMEN

El siguiente trabajo presenta un estudio de las principales características físicas y mecánicas de los paneles prefabricados. Estos cuentan con un centro de espuma de poliestireno expandido y armazón a dos caras de malla electrosoldada de acero de alta resistencia. Estos se utilizarían en la construcción de viviendas unifamiliares, como alternativa a las construcciones tradicionales de mampostería.

Para proveer un estudio completo se repasan las características de los sistemas tradicionales y las regulaciones que deben seguirse para garantizar una construcción segura y adecuada a las necesidades de los futuros habitantes de la construcción. Se hace un estudio sobre cómo ha evolucionado la construcción, en cuanto a la escogencia de los materiales. Esto para explicar las razones que han llevado a la necesidad de nuevos sistemas constructivos que provean de las mismas condiciones, pero que puedan ser asequibles para los estratos sociales más necesitados.

Por medio de ensayos se hace una caracterización experimental, observando las principales características físicas y las propiedades mecánicas que presentaron las muestras. Los ensayos se realizaron de acuerdo a las Normas de ensayos ASTM y las características estructurales se compararon con las requeridas en códigos tanto nacionales como internacionales.

OBJETIVOS

General

Demostrar por medio de ensayos de laboratorio que el sistema cumple con las normativas teóricas de construcción de mampostería estructural y construcción sismo resistente.

Específicos

1. Analizar la manera en que se transmiten las cargas en este sistema y las fallas que por ellas se producen.
2. Determinar la resistencia a corte, compresión, flexión e impacto de los paneles estructurales por medio de las normas internacionales ASTM.
3. Hacer una comparación de los resultados obtenidos con los ensayos y las medidas de resistencia mínimas requeridas por los códigos internacionales (IBC, UBC) y códigos de reconocimiento nacional (AGIES y FHA).
4. Hacer una comparación de los cálculos teóricos con los datos obtenidos por medio de los ensayos prácticos de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

La construcción es un proceso básico en la vida e historia de los hombres. Desde las primeras cuevas que utilizó para protegerse de los depredadores y de las inclemencias del clima, el hombre ha ido buscando nuevas opciones. Las principales razones por las que el hombre ha ido innovando en el área de la construcción son sencillas: la facilidad y velocidad de construcción y la seguridad, a menor costo, que puedan ofrecerle dichos métodos.

En un país con problemas tan marcados en el ámbito económico, como es Guatemala, donde, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2006 35,8 % de la población total vivía en pobreza (con menos de US\$ 2 por persona al día). El 15,2 % de la población total vivía en extrema pobreza (con menos de US\$ 1 por persona al día) las condiciones de viviendas son muy pobres, teniendo familias que viven en casas de caña, *nylon* y otros materiales de residuo.

Es por esto que las investigaciones del campo de la construcción deben centrarse en producir viviendas que cumplan con los requisitos de construcción y seguridad. Así como que sean accesibles a las masas, con precios bajos y que no requieran de mano de obra especializada. De esta forma, serán construidos por los más renuentes constructores, partidarios de los métodos tradicionales.

Con este trabajo se pretende proveer un sistema que cumpla con las normativas nacionales de seguridad. Esto al haber sido ensayado y probado en

un laboratorio y estudiadas sus propiedades, comparando sus características con las de los materiales más comunes en la construcción de viviendas.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Mampostería

Es un sistema de construcción que consta de varios elementos que lo conforman. Estos son: los bloques o elementos de mampostería, el mortero, la lechada y el refuerzo, cuando se trabaja con acero de refuerzo. La mampostería es el ordenamiento manual de dichos elementos para erigir muros o paramentos.

La construcción con mampostería aporta estabilidad a la estructura convirtiéndolas en muros portantes. Por lo mismo, les hace aptas para construcciones que aportan resistencia estructural a las cargas a que son solicitadas.

Los primeros tipos de mampostería de los que se tiene registro datan de alrededor de 3000 a.C. en Egipto y se elaboraban de piedra natural labrada, con dimensiones sorprendentes de hasta 4 metros de longitud. Estos eran conocidos como muros en seco. Llamados así por estar unidas las piezas solo por la fricción generada entre sus caras, es decir, no utilizaban mortero para unir las juntas.

En la actualidad, debido a las normativas que regulan el campo de la construcción, la finalidad es salvaguardar la vida y los bienes de sus usuarios. Como resultado de las evaluaciones realizadas a las catástrofes que se han producido, el sistema en seco ha quedado limitado al campo de la jardinería y la arquitectura paisajista. Dejando la mampostería con mortero y bloques prefabricados como el principal sistema constructivo para viviendas.

Los elementos que componen la mampostería deben cumplir con ciertas características de aceptación que se detallan a continuación.

1.1.1. Características de aceptación para los elementos de mampostería

Para que un elemento de mampostería sea aprobado, debe de contar con ciertas características especiales. Estas se encuentran detalladas en varios documentos. El más aceptado y utilizado en Guatemala es el normativo Coguanor.

1.1.1.1. Bloques de cemento

De forma general, los bloques de concreto con alto contenido de vacíos deben cumplir con la Norma Coguanor NTG 41 054 y se clasifican, según la Coguanor, de la siguiente manera:

- Según su uso
 - Clase A: para uso estructural con baja absorción de humedad. Estos pueden ser usados en muros, ya sea externos o internos que estén sometidos a cargas por debajo o sobre el nivel del suelo. Pueden ser muros divisorios que soportaran cargas, de contención o de cimentación. En edificaciones de áreas mayores a 100 m² de construcción hasta dos niveles. Para edificaciones mayores a dos niveles deben cumplirse los requisitos de la Norma AGIES NSE 7.4.

Los bloques pueden usarse con o sin recubrimiento protector contra las inclemencias del tiempo.

- Clase B: uso general con mediana absorción de humedad. Para muros interiores o exteriores que soportan carga sobre el nivel del suelo, para edificaciones con un área máxima de 100 m² de construcción, con distribución simétrica, de uno o dos niveles.

Los bloques externos deben contar con un recubrimiento protector contra las inclemencias del tiempo.

- Clase C: uso no estructural con alta absorción de humedad. Para muros externos o internos sobre el nivel del suelo, que no soportan cargas, o que la soportan en muros de edificaciones de un nivel con un área máxima de construcción de 50 m² con distribución simétrica. También puede usarse en muros colindantes entre terrenos. Si son muros externos deben llevar un recubrimiento protector contra las inclemencias del tiempo.
- Según la densidad (masa unitaria): los bloques de concreto completamente secos al horno y de acuerdo a la masa del concreto, se clasifican de la siguiente manera:
 - Pesado: los que tiene una masa unitaria mayor a 2 000 kg/m³ (125 lb/ft³)
 - Medio: los que tienen una masa unitaria mayor o igual a 1 680 kg/m³ pero menor de 2 000 kg/m³.

- Liviano: los que tienen una masa unitaria menor a $1\ 680\ \text{kg/m}^3$ ($105\ \text{lb/ft}^3$)

En la mayoría de los casos, los bloques de clase A corresponden a una densidad pesada. Los bloques clase B a la densidad media y lo los bloques clase C liviana. Sin embargo, debido a que las densidades de los bloques disponibles localmente son variables, se recomienda consultar con los fabricantes o proveedores antes de especificar requisitos de densidad para un proyecto dado.

- Dimensiones: debido a que la colocación de los bloques debe proporcionar estabilidad al muro, las dimensiones no deben variar demasiado entre los bloques para asegurar que trabajen en conjunto. Esta variación en las medidas principales del bloque debe ser, máximo, de $\pm 3\ \text{mm}$ con respecto a las medidas reales especificadas. Las dimensiones se encuentran en la siguiente tabla con el siguiente orden: largo, alto y ancho.

Tabla I. **Medidas principales normales de los bloques huecos de concreto**

Uso	Medidas principales nominales o modulares (cm)			Medidas principales reales (cm)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Fuente: Norma NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones. p.6.*

Adicional a la forma específica del bloque, este cuenta con nervios y paredes que deben cumplir con medidas específicas mínimas según la norma.

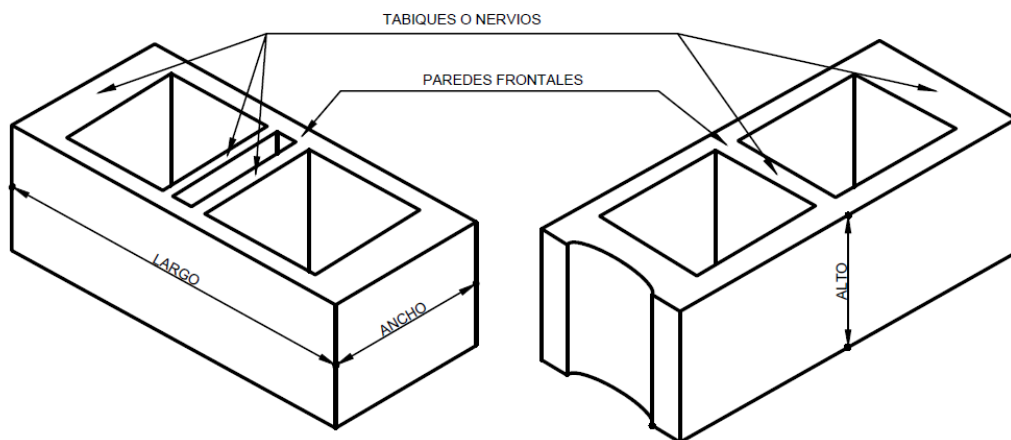
Tabla II. **Espesores mínimos de las paredes frontales y de los tabiques de los bloques**

Ancho nominal del bloque (cm)	Espesor mínimo de las paredes de las paredes frontales, promedio de 3 bloques (mm)	Espesor mínimo de los tabiques, promedio de 3 bloques (mm)
10	19	19
15	25	25
20	32	25
25	32	29
30	32	29

Fuente: Norma NTG. 41054 *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones. p.7.*

Estos espesores también deben respetarse cuando las medidas correspondan a los anchos reales de los bloques. La norma acepta espesores menores a los indicados en esta tabla, si y solo sí, se demuestra que los bloques tienen una capacidad estructural equivalente cuando se ensayan de acuerdo a las provisiones de los métodos de ensayo ASTM E 72, C 1314, E 519 u otros ensayos aplicables. Además de los criterios de diseño son desarrollados de acuerdo con los reglamentos o códigos de seguridad estructural aplicables.

Figura 1. **Medición de bloques de concreto**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Absorción: se debe considerar especialmente para los bloques que van a estar en contacto con el suelo o expuestos a la intemperie. La máxima absorción de agua de los bloques huecos de concreto, en 24 horas, será la que se indica en la tabla.

Tabla III. **Absorción máxima según peso**

Clase	Absorción en porcentaje de masa	
	Promedio de 3 bloques o más	Valor máximo bloque individual
A	≤ 10	11,00
B	≤ 15	16,50
C	≤ 20	22,00

Fuente: Norma NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones.* p.5.

- Resistencia: la resistencia a compresión se determinará para cada tipo de piezas de acuerdo con el ensaye especificado en la Norma: 21-17 del UBC-97 sección 2105.

Para diseño se empleará un valor de la resistencia, f'_m , medida sobre el área bruta. Esta se determinará como la que es alcanzada por lo menos por el 80 % de las piezas ensayadas. La resistencia de diseño se determinará con base en la información estadística existente sobre el producto o a partir de muestreos de la pieza, ya sea en planta o en obra.

Tabla IV. **Resistencia mínima a compresión sobre área neta para bloques de concreto**

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

Fuente: Norma NTG 41054. *Bloques huecos de concreto para muros. Especificaciones p.9.*

La norma indica, respecto a la resistencia mínima por bloque, que el requerimiento en promedio siempre debe ser respetado. Además de que en ningún caso la resistencia individual de los bloques debe ser menor a la que indica la tabla. También hace un paréntesis indicando que, de ser necesario, el comprador puede solicitar al fabricante bloques de resistencias mayores a las indicadas en la norma, cuando el diseño estructural así lo requiera.

1.1.1.2. **Bloques de ladrillo o barro cocido**

Se deberá considerar la Norma Coguanor NGO 41 022. Se clasifican según la relación área neta / área gruesa del plano perpendicular a la superficie de carga, en ladrillo macizo (relación $\geq 0,75$) y unidades de ladrillo perforado (relación $< 0,75$).

La resistencia mínima de los ladrillos de fabricación manual, medido sobre el área bruta, no debe ser menor que 50 kg/cm². Mientras que en los ladrillos

hechos a máquina debe ser de 91 kg/cm². La densidad de los ladrillos cocidos varía de 2,6 a 2,8.

1.1.1.3. Mortero

Es una mezcla plástica de material cementante, agregados finos bien graduados y agua. Los morteros deben contar con buena trabajabilidad para ser colocados y utilizados de manera adecuada, durabilidad y resistencia a la compresión. Esto para garantizar la adherencia y cohesión entre las unidades de mampostería, al mismo tiempo que pueden servir como aislantes contra la penetración del aire y la humedad.

La cal hidratada se suele añadir al mortero para aumentar la trabajabilidad, capacidad de retención de agua y la elasticidad. Esto debido a que los morteros a base de cemento puzolánico tienden a no retener mucha humedad. Sin embargo, la adición de cal hidratada también disminuye la resistencia a la compresión.

Todos los morteros están obligados a cumplir con la Norma ASTM C270. De acuerdo a esta Norma los morteros recomendados para la mampostería se clasifican en las siguientes categorías:

- Tipo M: mortero de alta resistencia, adecuado para uso general que se recomienda cuando se requiere máxima resistencia a la compresión o cuando la mampostería tenga que estar abajo del nivel de terreno y en contacto directo con el terreno.
- Tipo S: recomendado específicamente cuando se desea alta resistencia mecánica lateral de mampostería.

- Tipo N: mortero de resistencia intermedia, adecuado para uso general en mampostería expuesta, arriba del terreno.
- Tipo D: mortero de baja resistencia adecuado para muros de unidades sólidas que no sean de carga. Para divisiones interiores que no soporten carga, hechas de unidades huecas y para muros de carga de unidades sólidas en los que la resistencia axial a la compresión necesaria no sea mayor de 100 lb/pulg.

Tabla V. **Proporciones volumétricas de los morteros para levantado**

Proporciones de mezcla en volumen	Tipos de mortero			
	M 17,20 Mpa (2500 psi)	S 12,40 Mpa (1800 psi)	N 5,20 Mpa (750 psi)	O 2,40 Mpa (350 psi)
A C : AR	1:2 1:2 1/2 1:3	1:3 1/2 1:4	1:6	
B C : Cal : AR	1:1/4:2 1:1:4 1:1:2 1:1/3:4 1:1/2:2	1:1/2:4 1/2 1:1/3:5 1:1/4:4		1:3:12
C C : Cal : AP	1:2:6 1:2 M (1-3)	1:2:2 1:3:6 1:2:9 1:4:12 1:3:9 1:1 M (1-1) 1:2 M (1-2) 1:4 M (1-3) 1:3 M (1-3) 1:3 M (1-4)	1:5:10 1:6:18 1:5 M (1-2) 1:6 m (1-3) 1:5 M (1-3)	
-A- Mortero: Cemento : Arena de Río -B- Mortero: Cemento : Cal : Arena de Río -C- Mortero: Cemento : Cal : Arena Pómez M Mezcla: Cal : Arena				

Fuente: ASTM C 270. p.13.

1.1.1.4. Acero de refuerzo

El refuerzo utilizado en la construcción de mampostería reforzada de concreto es el mismo que en la construcción de concreto reforzado, con excepción del refuerzo de junta. Las barras corrugadas con las costillas salientes son necesarias en toda construcción, excepto cuando las relaciones en espiral se utilizan en las columnas, para hierro de alta resistencia. Estas barras pueden ser usadas normalmente en vez de las barras corrugadas.

Tabla VI. **Propiedades requeridas de barras de refuerzo**

Grado	Resistencia a la fluencia	Deformación por fluencia	Resistencia a la falla tracción
40	40 ksi	0,0035	70 ksi
60	60 ksi	0,0035	90 ksi
75	75 ksi	0,0035	100 ksi

Fuente: CORZO, Mario. *Notas mampostéricas de una sabandija*. p.11.

1.1.2. Mampostería confinada

Es la mampostería en la que se enmarcan las unidades de mampostería unidas, que generalmente están llenos, con elementos de concreto armado que actúan como su confinamiento. Este tipo de mampostería es la más utilizada en las construcciones.

Entre sus características más importantes están que las partes que ocupen las unidades de mampostería estén enmarcadas en todo su perímetro, que las partes ocupadas por la mampostería tengan una forma cercana a la cuadrada y que las unidades de mampostería no sean propensa a fallas frágiles

en compresión. Por esta razón se coloca una cuantía nominal de armadura horizontal en las hiladas de mampostería con el propósito de diseminar el agrietamiento, evitando así la formación de una única grieta diagonal.

En este tipo de mampostería la armadura que resiste la flexión (armadura vertical) se concentra en puntos determinados (extremos) en vez de estar difundidas a lo largo del muro. Además esta misma armadura puede utilizarse para resistir compresión, lo que demandará la utilización de estribos y el cortante es resistido por medio de un mecanismo de corte-fricción por los elementos de armaduras verticales y horizontales. La acción de las armaduras de confinamiento es la de proveer estabilidad y resistencia para las cargas perpendicular al plano, actuando entonces como un arrojamiento.

1.1.3. Mampostería reforzada

Es la mampostería que integra el comportamiento del acero y las unidades de forma que funcionen como un todo integrado monolíticamente. Para que esto se realice es indispensable que la adherencia de la armadura y los empalmes y anclajes de esta, posibiliten el desarrollo total de la resistencia de la armadura. La armadura utilizada puede ser vertical y horizontal, usando como componente de integración el *grout* (concreto líquido) o el mortero.

Por este motivo los diámetros de las barras de acero son reducidos, los anclajes y empalmes entre 50 y 100 veces el diámetro, y que los ganchos sean estándar de 90° verticales o 180° horizontales. En este tipo de mampostería la resistencia a tensión se confía exclusivamente al acero. Mientras que las unidades, mortero y *grout* proveen la resistencia a compresión del sistema y recubren la armadura.

1.2. Principios e hipótesis de diseño de mampostería

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará con el criterio de resistencia a flexo-compresión. Esto se especifica para concreto reforzado, y con base en las hipótesis siguientes:

- La mampostería se comporta como un material homogéneo.
- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana.
- Los esfuerzos de tensión son resistidos únicamente por el acero de refuerzo.
- Existe adherencia perfecta entre el acero de refuerzo vertical y el concreto o mortero de relleno que lo rodea.
- La sección falla cuando se alcanza, en la mampostería, la deformación unitaria máxima a compresión que se tomará igual a 0,003.
- A menos que ensayos en prismas permitan obtener una mejor determinación de la curva esfuerzo–deformación de la mampostería, esta se supondrá lineal hasta la falla.

Nota:

- En muros con piezas huecas, en los que no todas las celdas estén rellenas con mortero o concreto, se considerará el valor de f_m^* de las piezas huecas sin relleno en la zona a compresión.
- Muros sometidos a momentos flexionantes, perpendiculares a su plano podrán ser confinados o bien reforzados interiormente.
- En este último caso podrá determinarse la resistencia a flexo compresión tomando en cuenta el refuerzo vertical del muro, cuando la separación de este no exceda de seis veces el espesor de la mampostería del muro (t), ni mayor a 250 cms.

1.3. Cargas

Toda estructura se debe diseñar para soportar, además de su propio peso, cualquier otra carga a la que deba ser sometida. Estas pueden ser el peso muerto de otros materiales, la carga viva, cargas sísmicas y presiones de la tierra y cualquier otra que fuera requerida. Las cargas pueden ser de corta duración como sismos y de larga duración como carga muerta de maquinarias fijas; como en direccionalidad, horizontales o verticales. Todas estas variantes deben ser analizadas al momento de realizar el diseño de esta estructura, además de las posibles combinaciones.

Los efectos de las cargas sobre elementos, sistemas estructurales y la conexión entre ellos, para que la estructura satisfaga: el equilibrio y estabilidad, compatibilidad geométrica y propiedades de material a corto y largo plazo.

Los elementos tienden a acumular energía en forma de deformación residual bajo cargas de servicio repetidas; las excentricidades adicionadas que se espera que ocurran durante la vida de servicio.

Los factores de importancia para cargas de viento y sismo deben ser determinados de acuerdo a la tabla 1604.5 del IBC.

1.3.1. Cargas muertas

Son fuerzas estacionarias, las cuales incluyen el peso propio de la estructura y el peso de equipo y maquinaria permanente. El peso real de los materiales de construcción puede ser usado también. Se incluye el peso de equipo de servicio que se encuentra empotrado, como bombas en línea y de pico, lo relacionado con equipo eléctrico, ventilación y aire acondicionado, sistema contra incendios.

Debido a que los pesos reales (de la estructura y sus componentes) no están determinados explícitamente. La carga muerta usualmente se obtiene de cálculos de pesos específicos de los elementos estructurales y no estructurales, del equipo y maquinaria dada por el fabricante.

Los elementos no estructurales pueden ser: tabiques, baldosas, cielo falso y en sí, todo aquello que pueda estar anclado o sujetado en la estructura, pero que no sean elementos para resistir o trabajar estructuralmente. Sin embargo, sí pueden provocar acciones o sollicitaciones de esfuerzos sobre la estructura. Generalmente el mayor problema se tiene en la determinación de los tabiques, por lo que una costumbre bien aceptada es la de usar un valor de $0,0097 \text{ kg/cm}^2$.

1.3.2. Cargas vivas

Son fuerzas de corta duración pero que tienen la peculiaridad de ser variables en magnitud y ubicación. Se definen según el uso al que vaya a estar sometida la estructura. En estas cargas se incluyen personas, muebles, plantas, equipo no estacionario y cualquier cosa cuya permanencia en el espacio sea transitoria y generalmente se encuentran listadas en los códigos; es recomendable incluir el peso de la lluvia cuando se diseña una losa.

Existen dos condiciones especiales que generan acciones verticales y en mayor medida horizontales, por lo que se estudian por separado. Estas son:

- El viento por efecto de las corrientes *jet* y huracanes
- Los sismos producto de los terremotos

2. HISTORIA DEL USO DE MAMPOSTERÍA EN GUATEMALA

2.1. Período prehispánico

La civilización maya abarcó un gran territorio que se extendía desde el sureste mexicano, Chiapas, Yucatán y Tabasco. Esto fue gran parte del territorio centroamericano, incluyendo a Guatemala y Belice, así como parte de Honduras y El Salvador. Este amplio terreno donde floreció la civilización maya está comprendido dentro del área cultural conocida como el Sureste Mesoamericano y abarcaba cerca de 400 000 km².

Las creencias religiosas y su organización política llevó a los mayas a centrar su arquitectura en estructuras monumentales, basadas principalmente en construcciones de mampostería, con piezas naturales de piedra caliza. Progresivamente fueron dominando nuevas técnicas constructivas, con el desarrollo de materiales más duraderos y resistentes. Descubrieron la actividad puzolánica de algunos materiales como el nejayote, las cenizas volcánicas y las arcillas calcinadas y finamente molidas.

Con ello pudieron producir materiales cementantes de mejor calidad para realizar obras cada vez más sofisticadas. La civilización maya logró dominar la tecnología del hormigón, de forma similar e independiente de los romanos. Con ello se construyeron losas, pilas de puentes, soportes, bóvedas y otro tipo de estructuras.

Los principales rasgos que caracterizan la arquitectura maya, se incluye la arquitectura monumental en los centros ceremoniales, con el uso de bóvedas a

base de piedras saledizas y de cresterías. Además del aspecto estructural, la arquitectura maya se basa en cuatro elementos fundamentales: las piedras, los materiales cementantes (estucos, morteros y concretos), los soportes y la bóveda. Esta resulta ser uno de los rasgos distintivos de la tradición maya clásica. Se presume que para el año 300 a.C. la bóveda en saledizo pasó a sustituir el techo de palma, constituyéndose en definitiva el sistema constructivo y cambiando en forma radical el aspecto de las construcciones.

En la siguiente tabla se muestran cómo estos distintos elementos estructurales y materiales cementantes determinaron, en cierto sentido, los distintos estilos arquitectónicos que se han identificado.

Tabla VII. **Resumen de los diferentes estilos arquitectónicos**

Estilo	Región	Ejemplo	Características
Petén	Norte de Guatemala, Belice. Extremo meridional de Campeche y Quintana Roo	Templo I del Gran Jaguar en Tikal, Guatemala	Cuerpos escalonados, divididos por molduras y entrecalles. Esquinas remetidas y con una empinada escalinata sin alfardas. Muros muy anchos para soportar su propio peso y el de altas cresterías. Exteriores de los muros bien trabajados con sillares uniformes. Interiores de cascajo y tierra, en ocasiones de concreto ciclópeo
Usumacinta	Tierras altas de Chiapas y Guatemala	Estructura 22 (Gran Acrópolis) en Yaxchilán, Chiapas	Secciones de salientes y entrantes en los muros, cuartos amplios con varios accesos gracias al uso de grandes bóvedas. Uso de grandes bloques de piedra caliza para formar dinteles y jambas. Crestería de mucho colado que se adelgaza hacia arriba y se apoya en la parte central del techo. Uso de morteros y concretos para dar estabilidad estructural, refinamiento en los materiales
Norte de Yucatán	Norte de la península de Yucatán	El Castillo en Chichen Itzá, Yucatán	Relación con el estilo Puuc, con influencia del centro de México y que corresponde ya a la época posclásica. Síntesis de la tradición constructiva maya, combinada y enriquecida con otras de Mesoamérica, el resultado es un estilo distintivo e innovador cuyo principal rasgo son los edificios con columnas. Poco uso del concreto
Puuc (lomas)	Área septentrional de la península de Yucatán	Cuadrángulo de las Monjas en Uxmal, Yucatán	Construcciones más ligeras y muros contruidos con sillares de corte y ajuste cuidadoso. Marcado interés por dar mayor amplitud a os espacios interiores y un sentido de horizontalidad. Técnica del mosaico de piedra. Máximo desarrollo del arco de mampostería como arco triunfal

Fuente: GALLEGOS, Héctor y RAMÍREZ, Horacio. *Las estructuras de mampostería*. p.9.

Existen hallazgos de ciudades mayas que al encontrarse lejos de canteras de piedra caliza, desarrollaron toda una tecnología de mampostería de tabiques de arcilla cocida. Esta es muy similar a la utilizada en la actualidad, con hiladas unidas con juntas de mortero uniformes y el cuatrapeo necesario para lograr mayor estabilidad.

Además de morteros y estucos también utilizaron un material con las mismas propiedades del concreto moderno. Esto fue comol concreto ciclópeo, que consiste en piedras de varios tamaños rodeadas de mortero de arena y cemento, o bien con agregados graduados, principalmente arenas y gravas calizas.

2.2. Período colonial

La mampostería de ladrillo llega al nuevo mundo traída por los conquistadores europeos alrededor de 1523, aunque como ya se mencionó, los mayas ya habían hecho uso de esta en sus ciudades. Sin embargo, la arquitectura utilizada por los colonizadores era más parecida a la utilizada en la actualidad y estaba marcada por la influencia española, tanto en la escogencia de los materiales, como en el diseño y distribución de los ambientes. Un ejemplo claro de esto es el patio español, o patio central de las viviendas coloniales, donde las habitaciones se centraban en un patio decorado con fuentes y vegetación.

Como elemento de construcción básico, los españoles utilizaron la mampostería para conformar paredes externas y divisorias de espacios interiores. El material de construcción más utilizado para las viviendas eran la tapia y el ladrillo. Aunque escasamente, también se hacían casas completamente de piedra. La piedra era principalmente utilizada para reforzar

ángulos de esquinas, columnas y pilastras. La mampostería de piedra fue principalmente utilizada para la construcción de templos y conventos y como dispositivos de protección.

Los entrepisos se realizaban en madera. Estos eran sostenidos por vigas del mismo material y estructuras portantes de tablas, a veces de ladrillo y tejas en las cubiertas.

La vivienda contaba con pocas ventanas al exterior, por miedo a los ataques de los indígenas. Los vanos principales se producían al interior, mirando a los patios. De esta forma se ventilaban e iluminaban las estancias. En la fachada principal se podía encontrar, en ocasiones, solamente una puerta de grandes dimensiones como acceso a la vivienda. Esta puerta estaba decorada con elementos ornamentales o emblemáticos, dependiendo del estatus social del propietario.

Además del ladrillo de barro cocido se realizó una adaptación de los mampuestos utilizados por los indígenas, en los que la mezcla para dicho ladrillo incluía hojas de pino, u otro tipo de material orgánico, y arcillas del lugar. Dicho mampuesto es conocido, hasta ahora, con el nombre de adobe. Este tipo de mampuesto es popular para la construcción de viviendas de personas que no cuentan con el estatus necesario para construir con ladrillos de barro o de cemento y su uso se extiende hasta el día de hoy.

2.3. Época moderna

Este período en la historia de Guatemala se dividirá por uno de los sucesos más relevantes en la historia moderna. Esto debido a las consecuencias negativas para la vida de los guatemaltecos, como por las

lecciones que dejó al respecto de los métodos y materiales utilizados para la construcción. Este suceso es el terremoto de 1976.

Antes de que ocurriera el sismo se daba por sentado que la construcción se realizaba de forma adecuada y segura para los habitantes de las estructuras. Además de existir un sinnúmero de construcciones hechas por el método empírico o con una supervisión insuficiente de las normas ya prescritas.

La vivienda popular de Guatemala antes del terremoto no contaba con un conjunto de normativas para su aprobación. Tanto así que hasta 1973 no se contaba con un censo adecuado de vivienda y los tipos de materiales utilizados para la construcción variaban más de acuerdo al poder adquisitivo de la familia que la habitaría, que de las necesidades estructurales que el terreno o la zona geográfica ameritaban. Aparte de tomar en cuenta las condiciones climáticas, las construcciones solían realizarse por los conocimientos transmitidos de generación en generación por los constructores.

Una de las principales razones por las que se escogen los materiales de construcción para una vivienda es la capacidad adquisitiva de los moradores. Según el estrato social se observan variaciones en los materiales escogidos para la vivienda, esto se remonta a la prehistoria y sigue siendo vigente. En otras palabras, es válido decir que el problema de la calidad de la vivienda o su escasez es debido a la falta de ingresos, no a la falta de materiales de construcción o de asesoramiento técnico. Con esto se concluye que a quien tiene dinero no le faltará una vivienda adecuada con equipamiento de alta calidad.

En el área rural la construcción de viviendas, tanto en selección de materiales, distribución de ambientes, elección de colores, y otros; es una

cuestión de idiosincrasia o de necesidad. Pero con ocasión del terremoto, se ve que varias familias de escasos recursos pudieron tener acceso a una vivienda de condiciones más adecuadas a sus necesidades, debido a la ayuda estatal, privada e internacional.

En el censo de vivienda realizado por la Dirección General de Estadística en 1973, se cuantificó un total de 1, 013 817 viviendas para toda la República. De estas 353 580 son urbanas y 660 237 son rurales.

A continuación se muestran los datos recopilados en el censo de vivienda realizado en 1973. Esto según los materiales predominantes en las paredes exteriores, según departamento.

Tabla VIII. **Materiales predominantes en las paredes exteriores según departamento 1973**

Departamento	Material predominante en las paredes exteriores						
	Total	Ladrillo y/o block	Adobe	Madera	Bajareque	Lepa-palo o caña	Otro
Total	1 012 817	87 375	397 670	174 219	110 912	22 755	16 090
Guatemala	199 772	56 310	104 838	15 579	5 065	16 187	1 793
El Progreso	16 475	102	8 836	728	3 706	2 956	147
Sacapéquez	18 730	1 171	10 303	1 001	275	5 795	185
Chimaltenango	38 911	2 044	24 008	2 193	2 863	7 437	366
Escuintla	57 064	10 033	3 521	25 691	1 263	15 584	972
Santa Rosa	34 274	1 792	13 561	4 168	5 321	8 616	816
Sololá	25 100	236	11 261	3 154	2 319	6 743	1 387
Totonicapán	32 828	74	28 868	1 063	1 502	1 224	97
Quetzaltenango	59 314	3 046	27 863	15 438	3 363	7 609	1 995
Suchitepéquez	41 319	4 035	787	24 030	367	11 060	1 040
Retalhuleu	25 865	1 837	431	13 709	174	9 296	418
San Marcos	74 335	1 294	21 050	25 683	9 899	14 664	1 745
Huehuetenango	76 322	239	40 567	7 131	12 938	14 547	900
Quiché	57 817	67	34 148	5 071	3 499	14 665	367
Baja Verapaz	23 686	72	10 788	2 015	5 680	5 030	101
Alta Verapaz	56 829	1 189	1 155	8 830	5 248	39 326	1 081
Peten	13 523	402	436	2 607	2 993	6 840	245
Izabal	34 994	1 659	556	12 104	4 429	15 438	208
Zacapa	2 644	592	6 737	648	10 788	3 599	280
Chiquimula	33 551	294	10 522	517	12 412	8 496	1 310
Jalapa	24 324	43	12 609	1 437	5 211	4 891	133
Jutiapa	46 740	844	24 825	1 422	11 597	7 548	504

Fuente: MARROQUÍN, Hermes y GÁNDARA, José Luis. *La vivienda popular en Guatemala antes y después del terremoto de 1976*. p.134.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de viviendas que se encontraban en áreas rural y urbana, según el material predominante en las paredes exteriores. Entre paréntesis se encuentra el porcentaje que representa cada material, según el total de viviendas.

Tabla IX. **Tipo de materiales de paredes y porcentajes**

	Total	Ladrillo y/o Block	Adobe	Madera	Bajareque	Lepa, palo o caña	Otros
Urbano	353 580 (34,88)	69 448 (6,85)	181 910 (17,94)	54 760 (5,40)	18 813 (1,86)	23 600 (2,33)	5 049 (0,50)
Rural	660 237 (65,12)	17 927 (1,77)	215 760 (21,28)	119 459 (11,78)	92 099 (9,08)	203 951 (9,08)	11 041 (1,09)
Total	1,013 817	87 375 (8,62)	397 670 (39,22)	174 219 (17,18)	110 912 (10,94)	110 912 (10,94)	16 090 (1,59)

Fuente: MARROQUÍN, Hermes y GÁNDARA, José Luis. *La vivienda popular en Guatemala antes y después del terremoto de 1976*. p.118.

De acuerdo con estas tablas se ve como el adobe era el material predominante en la construcción de viviendas, tanto en el área rural como urbana. Seguido por la lepa o caña, cuya predominancia se da en el área rural.

Estos dos materiales son utilizados principalmente por su fácil adquisición. El adobe era un material que se podía encontrar de forma artesanal en cualquier municipio y era realizado sin ningún tipo de estudio, más que la experiencia y el conocimiento transmitidos de padres a hijos. Lo mismo que la construcción con lepa o caña.

Con estas tablas se evidencia el poco auge con el que contaba en ese entonces la construcción con ladrillos o block de concreto. El costo y la cultura, en esos momentos, no permitían que dichos materiales penetraran en la mente de los constructores.

Así mismo, se ve que en área rural se encuentra la mayor cantidad de viviendas, esto indica que la mayoría de personas vivían fuera del casco urbano

hasta 1973 y las áreas urbanas no se encontraban tan desarrolladas como en estos tiempos.

Al mismo tiempo se ve como en el departamento de Guatemala se conjugaba la mayoría de viviendas (19,72 %) y comparado con el segundo departamento que posee la mayor cantidad de viviendas, Huehuetenango (7,53 %), se evidencia la aglomeración en la que se encontraba en aquel entonces dicho departamento.

El siguiente censo completo con que se cuenta fue realizado en 1981, 5 años después del terremoto. La realización estuvo a cargo del Instituto Nacional de Estadística y se llevó a cabo en todo el país. Los datos que arrojan se encuentran presentados en la siguiente tabla.

Tabla X. **Material predominante en paredes exteriores para los censos de 1981 y 1994**

Material predominante en las paredes exteriores	Censo 1981		Censo 1994	
	Total	%	Total	%
Total	1,256 156		1,805 732	
Ladrillo, block o concreto	242 289	19,29	630 409	34,91
Adobe	384 582	30,62	538 816	29,84
Madera	265 062	21,10	294 756	16,32
Lámina metálica	18 303	1,46	27 661	1,53
Bajareque	97 504	7,76	86 736	4,80
Lepa, palo o caña	216 487	17,23	194 565	10,77
Otro	31 929	2,54	32 789	1,82

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. *Características de la población y de los habitantes censados. Censos nacionales XI de población y VI de Habitación 2002*. p.62.

Una de las cosas más interesantes que se ve con estas tablas, es el aumento en la popularidad de las construcciones con bloques o ladrillos. Como se mencionaba antes, luego del terremoto muchas personas contaron con ayuda financiera para reconstruir sus hogares. El no tener un presupuesto tan apretado influyó al momento de elegir el material y las construcciones con *block* y ladrillo empezaron a tomar auge, ya que desde 1973 aumenta de 8,62 % a 19,29 %, un aumento de 10,67 % en sólo cinco años.

Así mismo el adobe sigue estando en el primer lugar, al momento de elegir paredes externas. Y la lepa, es sustituida por las construcciones de madera en el segundo lugar de materiales. La lepa baja de 22,45 % en 1973 a 17,23 % en 1981; un descenso de 5,22 %, uno por ciento aproximado al año.

El último censo con que se cuenta, es de 2002 y en él se puede que las tendencias que empezaban a marcarse con los anteriores dos censos se mantienen y el uso de los bloques de concreto y ladrillo aumenta. Mientras disminuyen significativamente los otros tipos de construcción, por ser considerados no seguros y por otro lado, razones socioeconómicas. A continuación, se presentan los datos recopilados en el censo de 2002.

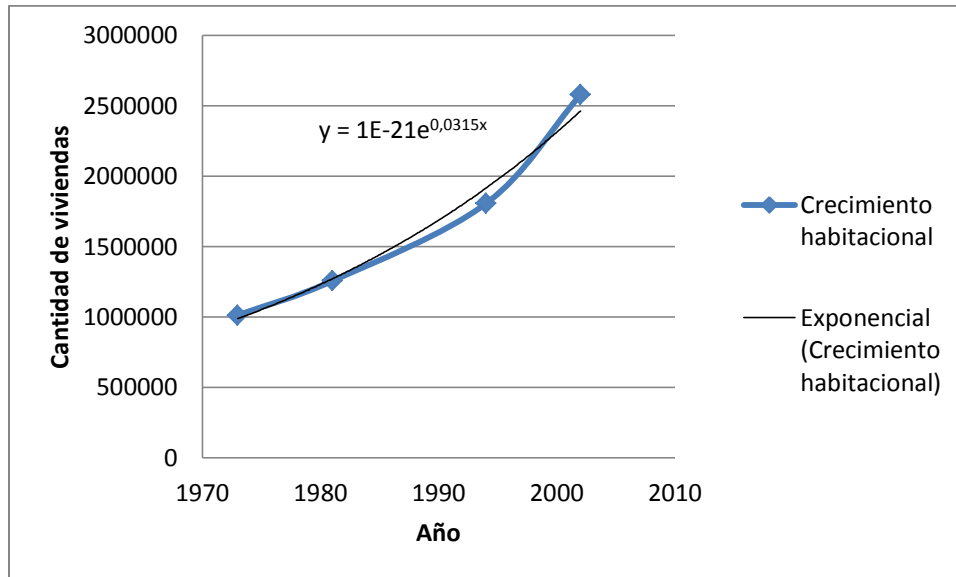
Tabla XI. **Materiales predominantes en las paredes exteriores según departamento 2002**

Departamento	Material predominante en las paredes exteriores censo 2002							
	Total	Ladrillo	Block	Concreto	Adobe	Bajareque	Lepa-palo o caña	Otro
Total	2, 578 265	87 529	1, 130 753	73 216	625 905	80 561	86 625	67 340
Guatemala	619 636	51 803	422 596	37 560	35 614	1 654	4 114	36 994
El Progreso	36 209	430	18 444	90	9 685	4 017	535	520
Sacapéquez	54 414	994	43 099	853	2 673	325	2 260	1537
Chimaltenango	93 655	2 225	52 214	866	21 780	4 534	2 694	2 333
Escuintla	129 208	2 091	92 926	2 179	1 821	591	4 244	7 990
Santa Rosa	74 458	1 324	35 461	739	23 418	2 906	2 532	1 439
Sololá	62 890	337	23 346	489	26 396	1 229	845	573
Totonicapán	75 502	398	15 550	728	57 169	103	160	379
Quetzaltenango	143 085	1 645	74 659	8 774	35 098	690	3 331	1 953
Suchitepéquez	90 628	1 356	42 142	2 871	1 000	292	4 796	2 634
Retalhuleu	54 720	328	26 798	2 275	180	230	3 295	1 351
San Marcos	177 946	1 668	54 731	8 122	66 376	1 836	3 351	2 478
Huehuetenango	196 257	1 339	40 182	2 627	113 901	1 397	2 985	1 565
Quiché	140 046	2 370	12 413	936	84 033	2 175	4 708	704
Baja Verapaz	52 980	440	9 430	214	30 200	2 230	2 745	278
Alta Verapaz	149 996	431	34 105	921	1 525	4 853	21 173	826
Peten	81 652	247	22 498	795	708	2 074	8 219	645
Izabal	76 572	510	36 989	1 208	1 416	2 225	6 984	743
Zacapa	49 958	563	23 860	211	6 401	15 271	1 198	362
Chiquimula	69 507	399	18 506	396	22 799	22 769	3 677	485
Jalapa	54 139	3 193	8 740	91	35 462	2 218	1 251	607
Jutiapa	94 807	13 438	22 064	271	48 250	6 942	1 528	944

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. *Características de la población y de los habitantes censados. Censos nacionales XI de población y VI de Habitación 2002.* p.227.

En esta tabla se muestra que el departamento de Guatemala cuenta aún con la mayoría de viviendas, con el 24,03 % de ellas en su territorio. Le sigue el departamento de Huehuetenango con el 7,61 %. Además, el crecimiento de la vivienda ha empezado a tomar la típica forma exponencial, con un marcado crecimiento desde 1994, como se puede observar en la siguiente gráfica.

Figura 2. Crecimiento habitacional



Fuente: elaboración propia.

Para 2002 se presenta también una tabla del uso de materiales para paredes exteriores donde se señala el uso de material y el porcentaje de uso por área rural o urbana. Entre paréntesis se muestra el porcentaje de uso en relación a la totalidad de viviendas censadas.

Tabla XII. **Tipo de material según área rural o urbana para el año 2002**

Material predominante en las paredes exteriores	Censo 2002			
	Área urbana	Porcentaje	Área rural	Porcentaje
Total	1,245 112 (48,64)	100,00	1,333 153 (51,71)	100,00
Ladrillo, block o concreto	901 239 (34,96)	72,38	390 259 (15,14)	29,27
Adobe	178 647 (6,93)	14,35	447 258 (17,35)	33,55
Madera	99 561 (3,86)	8,00	326 775 (12,67)	24,51
Bajareque	11 995 (0,47)	0,96	68 566 (2,66)	5,14
Lepa, palo o caña	14 289 (0,55)	1,15	72 336 (2,81)	5,43
Otro	39 381 (1,53)	3,16	27 959 (1,08)	2,10

Fuente: Instituto Nacional de Estadística. *Características de la población y de los habitantes censados. Censos nacionales XI de población y VI de Habitación 2002*. p.62.

En este cuadro se observa que, aunque el área rural cuenta con la mayoría de viviendas, el margen de diferencia ha disminuido. Teniendo para 1973 el 65,12 %, para el 2002 cuenta con el 51,71 %, demostrando el crecimiento y expansión de las áreas urbanas.

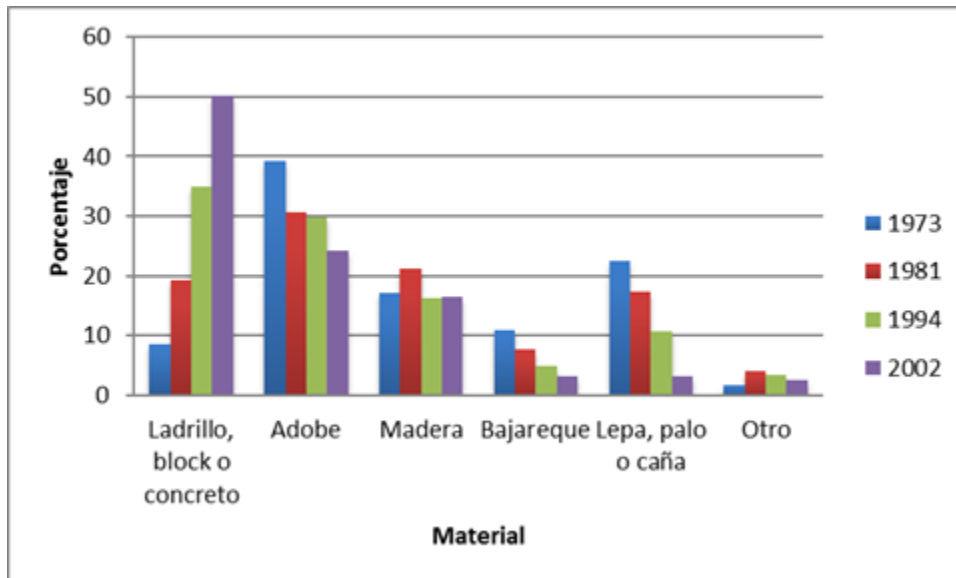
Muestra también como el uso del adobe está siendo rezagado únicamente a las áreas rurales, cuando en 1973 contó con un 17,94 % de uso en áreas urbanas, ahora cuenta solamente con el 6,93 %. Con esto se asume que el uso de bloques de arcilla cocidos o de concreto se ha vuelto una cuestión limitada por la economía, debido a que en el área rural se encuentra la mayoría de habitantes de escasos recursos.

También podría ser una razón cultural por la que se continúa construyendo con adobe en áreas rurales ya que este ha sido el material seleccionado por las familias por muchas generaciones.

Sería esta la misma razón por la que en el área rural se observa el uso, disminuido, pero aún marcado, de materiales artesanales, como el bajareque, la lepa y otro tipo de materiales similares. Mientras que en el área urbana, el uso de los bloques prefabricados a base de barro cocido y bloques de concreto son los que se marcan como favoritos a la hora de construir.

Ahora, con todos los datos que se han mostrado, se presenta la tabla siguiente donde se ve el aumento y disminución en el uso de los materiales a lo largo de los años.

Figura 3. **Gráfica comparativa de los materiales en el tiempo**



Fuente: elaboración propia.

Con este gráfico se observa claramente la evolución en el uso de los materiales de construcción, para viviendas a lo largo del tiempo. Se muestra cómo el uso de materiales artesanales, bajareque, lepa, palo o caña ha disminuido notablemente. El uso de la madera, sin embargo, se incrementó para construcciones. Denotando una emigración de materiales artesanales de baja resistencia, o de aspecto rústico, a otro material un poco más refinado.

El uso de bajareque y lepa tuvo, poco tiempo después del terremoto, el problema de proveer espacio para la proliferación de chinches, por lo que su uso disminuyó para la seguridad de los habitantes. Se realizaron varias campañas para promover el uso de materiales alternativos, donde la chinche no pudiera hacer nidos con tanta facilidad. Al ser estas familias de escasos recursos, el material alternativo seleccionado, en la mayoría de casos fue la madera. Por eso se ve un repunte en el uso de la madera en 1981.

En cuanto al resto de materiales se puede ver con claridad cómo su uso va en disminución, excepto los bloques de concreto y ladrillos. Estos dos últimos son los materiales que vienen teniendo mayor auge en la construcción hasta el día de hoy. Por ser versátiles, de relativamente fácil colocación y por ser un material que ha sido estudiado más ampliamente que el resto de materiales. No solo el material en sí, sino los métodos constructivos en los cuales se aplican, cuentan con normativas y reglamentos estrictos, esto brinda una sensación de seguridad en las personas que los usan para sus viviendas.

3. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE PANELES

3.1. Sistema estructural tipo panel prefabricado

En la actualidad, los sistemas de construcción prefabricados han ganado importancia en las construcciones. Esto debido a las comodidades que ofrecen comparados con los sistemas tradicionales de mampostería. Entre ellos se mencionan el tiempo de colocación y el menor uso de mano de obra, lo que repunta en una reducción en el costo final de la construcción.

Para entender con mayor facilidad este capítulo, se define panel prefabricado, como:

“Elemento cuya dimensión menor debe ser por lo menos 10 veces su mayor espesor, que debe ser manejado como una sola pieza y se utiliza en la construcción de divisiones verticales en el interior o exterior de las edificaciones; y que es fabricado en serie o industrialmente en una planta de procesos fuera del lugar de la obra”¹

Los paneles prefabricados de hormigón son elementos que cuentan con capas, o láminas, de hormigón con acero, de dimensiones, espesores y pesos variables. Estos pueden ser:

¹ ORELLANA, Anaite. *Inventario de sistemas constructivos a base de paneles prefabricados, normalización y procedimientos para su caracterización.* p 2.

- Paneles portantes: son los que forman parte de la estructura del edificio, transmitiendo esfuerzos al terreno o la cimentación
- Paneles autoportantes: son los que simplemente actúan como cerramiento exterior o partición interior, están apoyados en la estructura.
- Paneles de hormigón multicapa: son los que cuentan con una lámina central de material aislante, o con una capa para aligeramiento de poliestireno expandido.

3.1.1. Construcción prefabricada alzada (*Tilt-up*)

Con este método, los elementos de concreto que pueden ser paredes, columnas u otros soportes estructurales, son construidos en posición horizontal en forma de una plancha de concreto. Esto generalmente implica que el piso de la edificación aportará forma a una de las caras del elemento. Sin embargo, esto es fácilmente corregido con la aplicación de algún acabado. Una vez que el concreto se ha curado, los elementos son alzados hacia su posición vertical, por medio de grúas y arriostrados en su lugar hasta que el resto de elementos es colocado y asegurado.

La mayor diferencia y ventaja que ofrece este sistema es que los elementos son construidos en la obra. De forma que no se limita el tamaño de dichos elementos por el transporte desde una fábrica.

3.1.1.1. Montaje de los paneles

Un proyecto de construcción con paneles alzados empieza con la construcción *in situ* de las planchas de concreto. Durante esta fase los

trabajadores colocan soportes alrededor de las planchas como preparación de los paneles. Se realiza un encofrado de madera, que proveerá a la plancha de su forma y tamaño final, además de colocarse los espacios donde irán puertas, ventanas y cualquier otro tipo de abertura que haya sido proyectada para la edificación.

A continuación se coloca la trama de acero que servirá como refuerzo al panel. Se instalan piezas especiales que quedan alojadas en el concreto, a las que se les enrosca luego un tornillo. Este sirve de punto de enlace de los cables de las eslingas de la grúa y posteriormente son retirados. Son colocados también embebidos en el concreto que servirán para unirlos al sistema de techos y entre los mismos paneles.

Luego de todo esto se limpia la plancha de cualquier cuerpo extraño que pueda encontrarse, y de agua que pueda estar acumulada en el lugar. Esto para que no se afecte la calidad del concreto al verterlo.

Ahora viene la parte de donde la construcción de paneles alzada toma su nombre.

Una vez que el panel de concreto ha sido curado y se encuentra totalmente sólido, se retira el encofrado y se procede a conectar el primer panel a una gran grúa. Esto por medio de cables que están enlazados a los embebidos que se colocaron en los paneles. También se arriostran los paneles a la plancha y se adhieren los embebidos del panel a los soportes o zapatas, luego se desconectan los cables de la grúa. Este proceso se repite para cada uno de los paneles hasta que la edificación esté, literalmente, totalmente levantada.

Antes de alzar los paneles se debe proceder a:

- Replantear los paneles según los planos de montaje. Estos planos deben reflejar las cotas de replanteo, la modulación y la nomenclatura de los paneles. Es importante que al alzar los paneles se haga de acuerdo al orden planeado para la ejecución.
- Establecer un reparto de juntas que permita absorber pequeños errores de ejecución de la obra *in situ*.

El montaje se ejecutará de la siguiente manera:

- Posicionamiento.

Figura 4. **Proceso de posicionamiento de un panel de fachada**



Fuente: SÁNCHEZ, Juan Francisco. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. p.24.

- Nivelado y aplomado.

Figura 5. **Proceso de nivelado y aplomado de un panel de fachada**



Fuente: SÁNCHEZ, Juan Francisco. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. p.24.

- Anclaje mediante soldadura o atornillado.

Figura 6. **Proceso de anclaje de un panel de fachada**



Fuente: SÁNCHEZ, Juan Francisco. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. p.24.

El último paso en el proceso es un paso puramente estético. Y consiste en la limpieza final de los paneles erectos, la remoción de cualquier imperfección en las superficies y se recomienda hacer un lavado de las caras de los paneles. Aunque al final todos los paneles suelen ser pintados antes de su puesta en uso.

3.1.2. Placa poste

Este sistema consiste, básicamente y como su nombre lo indica, en un conjunto de postes rígidos anclados a una base o cimentados, y placas que sirven de cerramientos. Tanto las placas como los postes pueden estar fabricados de varios materiales, dependiendo del uso que se vaya a hacer del muro levantado con este sistema.

El sistema placa poste tuvo sus inicios en la construcción de muros perimetrales. Este sistema utiliza postes de concreto armado cimentados en el terreno y placas de varios materiales, siendo el más común, placas de hormigón texturizadas.

Figura 7. **Sistema placa poste para muros perimetrales**



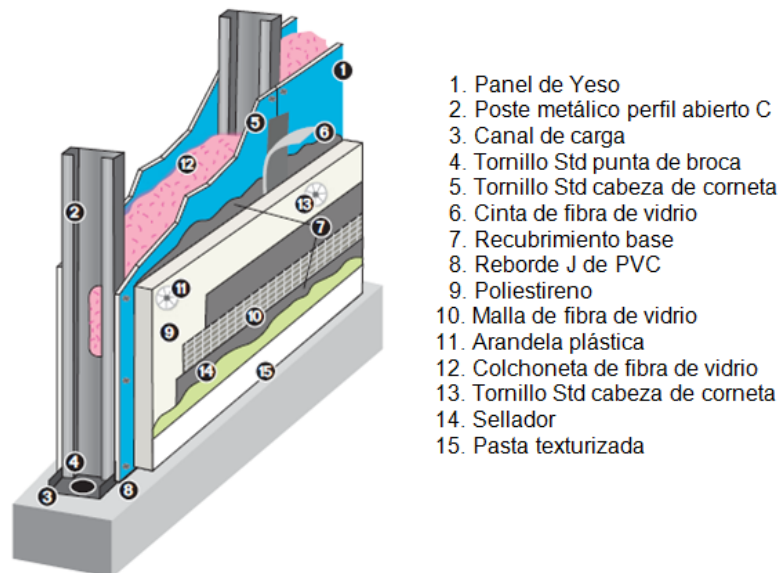
Fuente: MOLINA, Joel. *Sistemas de cerramiento*.

https://www.google.com.gt/webhp?sourceid=chrome-instant&rlz=1C1TSNF_enGT447&ion=1&espv=2&es_th=1&ie=UTF-8#q=placa-poste. Consulta: 20 de agosto de 2015.

Luego de establecidas las facilidades que este sistema proveía, en cuanto al ahorro de tiempo, materiales y mano de obra, se continuó con el estudio para ver su viabilidad en la construcción de viviendas. De esto han surgido incontables variaciones y combinaciones posibles entre estilos y materiales, tanto para las placas como para los postes.

En la siguiente imagen se muestran los materiales más comunes utilizados en la construcción de viviendas que utilizan el sistema placa poste.

Figura 8. **Configuración de un panel para fachada tipo placa poste**



Fuente: Panel Rey. Panelería de yeso. *Catálogo de productos.*

https://www.google.com.gt/search?q=placa-poste&biw=1242&bih=606&espv=2&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMloNLCoMO6xwIVCVYeCh3Bagbf&dpr=1.1#tbm=isch&q=panel+rey&imgrc=iYoeqeqMFWVpyM%3A. Consulta: 21 de agosto de 2015.

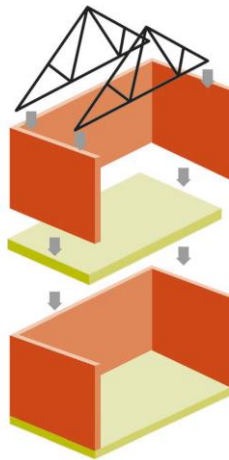
Para divisiones interiores los elementos de placas suelen ser más sencillos, reduciendo los materiales a dos placas de yeso y un relleno de fibra de vidrio o de poliestireno. Suelen ser utilizadas en remodelaciones por tener la ventaja de ser un proceso limpio de colocación, comparado con la mampostería tradicional. Además de tener fácil adaptabilidad a formas curvas y proveer de las mismas condiciones de permeabilidad y privacidad que las construcciones tradicionales, presentando ahorro en el tiempo de instalación y en el gasto de equipo y mano de obra.

3.2. Sistema plataforma de encuadre (*platform framing*)

Es un sistema para la construcción que puede ser de varios niveles, en el cual los soportes son de un sólo nivel. Las viguetas de entrepiso para cada nivel descansan en placas de tope entre cada uno de los soportes. Los muros de carga y las particiones se colocan sobre una base rígida que sirve como base para el suelo terminado.

El término de plataforma de encuadre se refiere principalmente a las construcciones donde las estructuras del piso cargan sobre muros de paneles. Esto crea una plataforma para la construcción de los siguientes niveles de muros o paneles, como se indica en la figura.

Figura 9. Líneas de carga en una edificación de *platform framing*



Fuente: Structural Timber Association. *Timber frame structures-platform frame construction*.p.1.

3.2.1. Características generales del sistema

El sistema de plataformas de encuadre es adecuado, particularmente, para edificaciones que tienen una planta de tipo celular. Los muros y divisiones internas pueden ser usados para contribuir a este diseño celular y son usadas como elementos portantes para resistir cargas tanto verticales como horizontales. Las acciones verticales de muros, pisos y techos son soportadas por paneles confinados por soportes a distancias regulares (típicamente a 600 mm entre ejes o menos) que actúan como columnas verticales.

La resistencia a las acciones horizontales es provista por paneles en ese plano. Estos se encuentran conectados entre ellos para actuar como un muro de diafragma continuo.

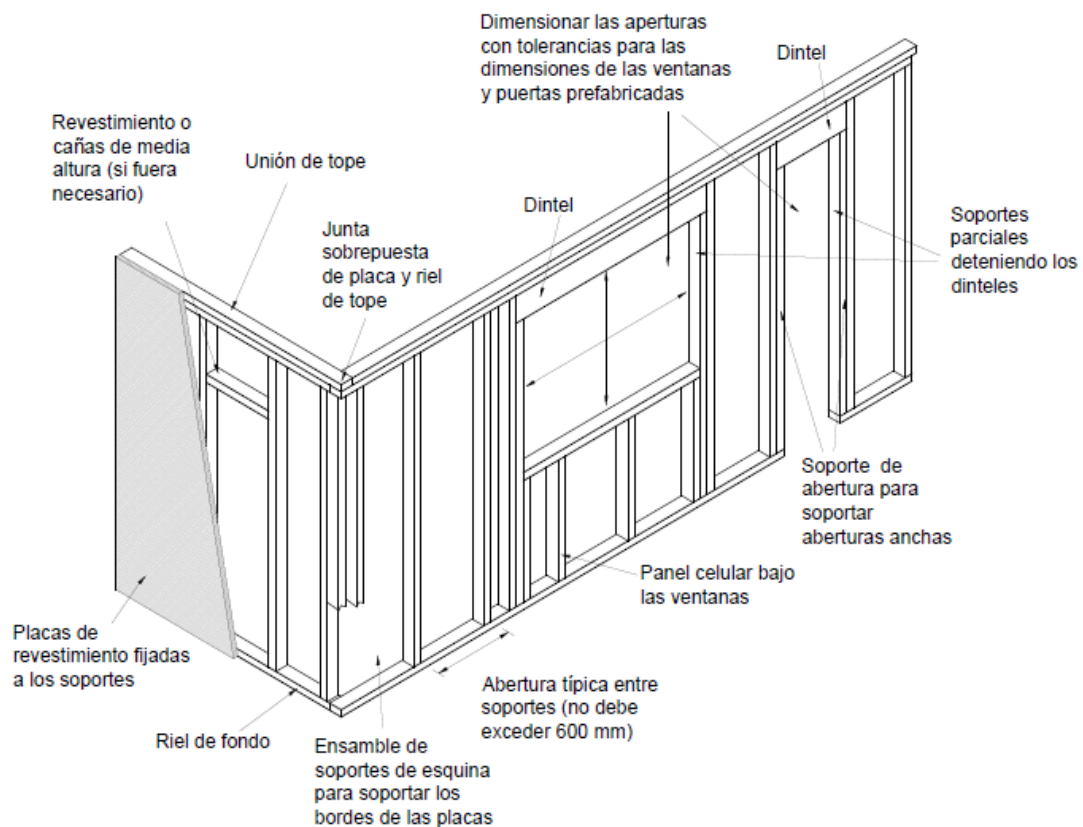
Los principales componentes de este sistema son:

- Soportes de muros: son miembros verticales que soportan cargas axiales y cargas laterales debidas a presiones de viento.
- Rieles de tope y fondo: suelen tener el mismo tamaño que las secciones de los soportes de muro. Son los que conectan los soportes entre ellos.
- Soleras que son fijadas al cimiento o a una cubierta inferior para proveer una posición de localización para el panel de pared.
- Uniones de topes que conectan los paneles adyacentes para permitir que funcionen como un muro diafragma continuo y, en combinación con los rieles al tope de los paneles. Actúan como vigas propagadoras para

distribuir las cargas en las juntas de piso a los soportes de muro donde las uniones no están alineadas a los soportes.

- Dinteles, soportes parciales, y soportes de apertura: son los que transfieren las cargas verticales y horizontales alrededor de las aberturas en los paneles. Los soportes son colocados para que eje más fuerte sea paralelo al rostro del muro.

Figura 10. **Componentes típicos de una construcción con plataforma de encuadre**



Fuente: Structural Timber Association. *Timber frame structures-platform frame construction*. p.2.

3.2.2. Comportamiento estructural

Las líneas de carga vertical deben ser chequeadas por las siguientes características de transferencia de carga:

- Uniones de piso y reacciones de las vigas en muros. Chequear los elementos críticos de carga en las vigas y las uniones.
- La distribución de las cargas desde los soportes hacia los rieles y placas y hacia la zona del piso hasta el marco de muro que se encuentre por debajo.
- Debe asegurarse la resistencia a levantamiento/volcamiento debido a las presiones de sustentación en el techo.
- El diseño de los muros debe ser siempre con la carga de compresión paralela al grano en los soportes y perpendicular al grano en los rieles de paneleado. Además, se deben chequear los esfuerzos combinados y de acción axial en los soportes por acciones verticales y horizontales.

En el anexo 1 se ve con mayor claridad la manera en la que se transmiten las cargas, por medio de un dibujo donde se encuentran señaladas las líneas de carga verticales de este sistema.

4. CÓDIGOS DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN PARA ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA APLICADOS AL SISTEMA PLACA ESTRUCTURAL-PILASTRA METÁLICA

4.1. Códigos internacionales de aceptación estructural de mampostería

Para este trabajo se toman en cuenta dos códigos de relevancia internacional. Estos códigos son el UBC y el IBC. Ambos son de origen estadounidense y tuvieron gran aceptación en todo el mundo por contar con métodos de cálculo sencillos y fáciles de aplicar.

Sin embargo, por estar hechos para el área de Norte América, los datos, como factores por tipo de suelo o zona sísmica, eran sólo aplicables a los territorios que comprende dicha área.

4.1.1. UBC-97

El UBC (*Uniform Building Code*) es un código de construcción que empezó sus publicaciones en 1927. El propósito era unificar las normativas y estándares de construcción, para promover la seguridad pública y proveer de requerimientos estándar que no variaran de ciudad en ciudad. Este código siguió en vigencia hasta 2000, cuando fue sustituido por el IBC (*International Building Code*).

Este código trata acerca de las regulaciones que deben hacerse en cuanto al diseño de estructuras. Esto para asegurar que al ser sometidas a servicio y

presentarse alguna solicitud extra, como sismos, no falle o falle de manera que no provoque fatalidades.

El código está realizado con base en las características propias del territorio estadounidense. Por lo que analizar este sistema por medio de este código, resultaría infructuoso.

4.1.2. IBC-2003

Este normativo nace de un esfuerzo que inició en 1997 para satisfacer la necesidad de un código actualizado de construcción que se refiriera al diseño e instalación de sistemas de construcción. Esto se lograría a partir de requerimientos y enfatizando en el desempeño. Este código establece regulaciones mínimas para sistemas constructivos haciendo uso de disposiciones preceptivas y relacionadas con el rendimiento. Está fundado en principios ampliamente conocidos que hacen posible el uso de materiales nuevos y nuevos estilos de diseño de estructuras.

Este código está basado en principios dirigidos a establecer provisiones acordes con el alcance de un código de construcción que proteja adecuadamente la salud pública, la seguridad y el bienestar. Así como provisiones que no aumentan innecesariamente el costo de la construcción, disposiciones que no restringen el uso de nuevos materiales, productos o métodos de construcción, y disposiciones que no dan trato preferencial a ciertos tipos de material o clases de materiales, productos o métodos de construcción particulares.

Debido a que el sistema de placa estructural está siendo pensado como un método de construcción de viviendas que no requiera de mano de obra especialmente calificada, se analizará por medio del capítulo 21, sección 2109.

En el inciso 2109.2 se establecen los espesores de muro mínimos cuando el muro esté pensado para resistir esfuerzo de corte. Estos se describen en la siguiente tabla:

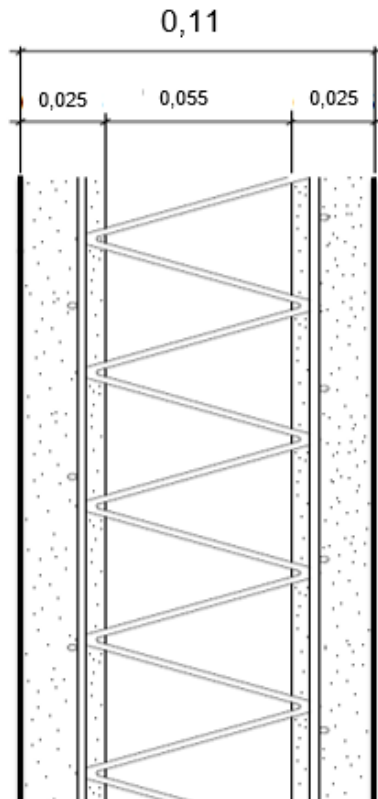
Tabla XIII. **Espesores de muros mínimos según IBC-2003**

	Espesor nominal de muros de corte (mm)	Espesor nominal de muros portantes (mm)
Edificios de dos o más niveles	203	203
Edificios de un solo nivel	152	152

Fuente: IBC 2003.

Se ve entonces, en la siguiente figura, que muestra una sección transversal típica del muro con dimensiones en metros, el muro de paneles no cumple con la norma, según su espesor mínimo. Sin embargo, estas normas están pensadas para mampostería que debe resistir a las cargas típicas del territorio norteamericano. Por ello, con esto, se excusa el incumplimiento en este aspecto.

Figura 11. **Sección lateral de un panel estructural terminado**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD.

4.2. Códigos nacionales de aceptación estructural de mampostería

Se trata de tres códigos que se encuentran con la mayor aceptación en el mercado nacional. Estos son el FHA, que se centra en características de aceptación que ayuden a los compradores a obtener financiamientos con entidades privadas. El AGIES, que está diseñado para satisfacer las necesidades sísmicas típicas del territorio guatemalteco. Las Coguanor, que se encargarían de verificar la calidad al momento de la producción de los elementos que conforman este sistema.

4.2.1. FHA

Las normas de construcción del Fomento de Hipotecas Aseguradas se crearon con el propósito de proveer un estándar al momento de valuar viviendas. Para proveer soluciones al problema de la vivienda y proveer inversiones de capitales privados. Se refiere tanto a los aspectos del inmueble, de la construcción y de los posibles compradores de dicho inmueble como de las propiedades estructurales mínimas que debe poseer la edificación. Para ello se hace un repaso de las normas que se aplican a las construcciones. Esto para compararlas con las condiciones que brinda el sistema de placa estructural-pilastra metálica.

Como primer punto importante, la norma manda espesores de muros mínimos. Luego solicita una cuantía de acero para refuerzos, tanto verticales como horizontales, de acuerdo al área de sección bruta de pared y dependiendo del esfuerzo de fluencia del acero a usar. Esto es detallado en las siguientes tablas.

Tabla XIV. **Espesores mínimos para muros de acuerdo a FHA**

	Espesor de muro
1 nivel	0,11 m mínimo. Relación altura/espesor ≤ 23
2 niveles	0,14 m mínimo para el primer nivel. Relación altura/espesor ≤ 20

Fuente: Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas. *Normas de planificación y construcción para casos proyectados*. p. 52.

Tabla XV. **Cuantía de acero mínima por sección de área de muro bruta**

Esfuerzo de fluencia	Cuantía de acero de refuerzo	
	Vertical	Horizontal
2 325kg/cm ²	0,0008	0,0015
2 820kg/cm ²	0,0007	0,0013
3 525 kg/cm ²	0,0006	0,0012
≥ 4 227 kg/cm ²	0,0005	0,0010

Fuente: elaboración propia con datos del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas.

Normas de planificación y construcción para casos proyectados. p. 52-54.

El panel cuenta con un corazón de monoport (poliestireno expandido), rodeado de electromalla de alta resistencia de 0,0027 m de diámetro. El sistema terminado debe llevar un recubrimiento de mortero de clase A en ambas caras, el grosor recomendado es de 0,025 m, aunque por recomendación del fabricante, puede ser de hasta 0,030 m. Una sección transversal del panel se muestra en la figura 12, mostrando las dimensiones en centímetros.

Al analizar el espesor de muro, se ve que cumple con el grosor mínimo para viviendas de un nivel. Además de cumplir con el requerimiento de la relación altura/espesor.

$$\frac{\text{altura}}{\text{espesor}} = \frac{2,44 \text{ m}}{0,11 \text{ m}} = 22,18 \leq 23$$

Esto con un grosor de 0,11, si se aumenta el recubrimiento de ambas caras a 0,030 m se obtiene un grosor total de 0,115 m:

$$\frac{\text{altura}}{\text{espesor}} = \frac{2,44 \text{ m}}{0,115 \text{ m}} = 22,22 \leq 23$$

Lo que indica que el sistema, a primera vista, es solo apto para construcciones de un nivel. Sin embargo, por ser un sistema de prefabricado deben hacerse estudios de esfuerzo y comportamiento de carga para tener una conclusión más certera.

En cuanto al acero de refuerzo, el código indica que puede utilizarse acero de alta resistencia y malla electrosoldada como refuerzo vertical u horizontal en muros de concreto. Esto es tanto si son fundidos *in situ* como si son elementos prefabricados, hasta dos pisos de alto. Por ello, se hace la comparación:

Las dimensiones de un panel tradicional son las siguientes: espesor: 0,11 m a 0,115 m y de ancho: 1,20 m. Lo que da un área transversal bruta de 0,132 m² mínimo. En la siguiente tabla se encuentran las cantidades de acero que debe llevar el panel, mínimo, según la norma.

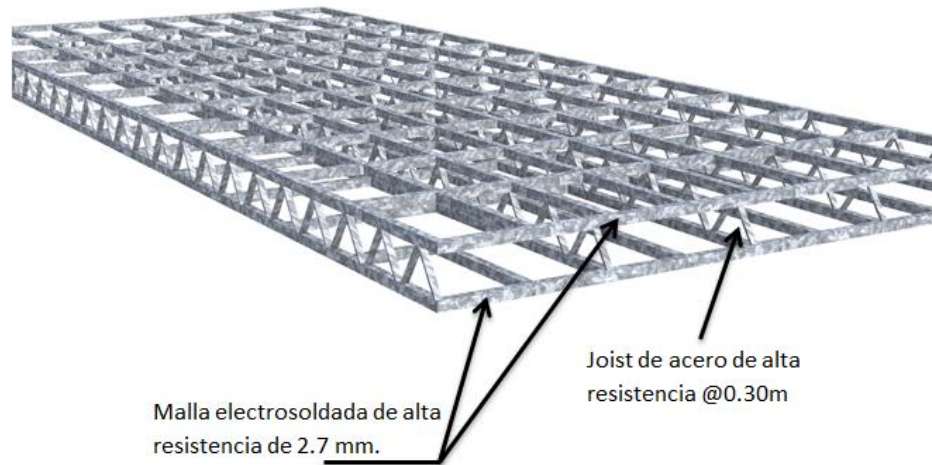
Tabla XVI. **Acero requerido según la sección transversal bruta del panel para Norma FHA**

Área de sección (cm ²)	Área de acero requerida (cm ²)	
	Vertical	Horizontal
1380	0,69	1,38
1320	0,66	1,32

Fuente: elaboración propia.

Ahora se procede a chequear si el panel cumple con el área de acero requerida según su sección transversal. En la siguiente figura se muestra un esquema del armado típico de un panel. A base de malla electrosoldada y Joist de acero de alta resistencia.

Figura 12. **Esquema de armado de un panel típico**



Fuente: elaboración propia, empleando SketchUp.

Se tiene entonces una longitud de panel de 1,20 m y la malla cuenta con separaciones a cada 0,15 m. Esto da un total de 8 varillas longitudinales por cara. Esto equivale a:

$$A = \pi r^2 = \pi * (0,27 \text{ cm})^2 = 0,23 \text{ cm}^2$$

Debido a que se tiene ocho varillas, el área total de refuerzo vertical por electromalla es de:

$$8A = 0,23 \text{ cm}^2 * 8 = 1,83 \text{ cm}^2$$

Adicional a esto se debe agregar el área que aporta el Joist. Es una Joist de acero de alta resistencia de diámetro de 2,7 mm colocada a cada 0,30 m de distancia desde el borde del panel. En total el panel debe llevar 5 *Joist* verticales. Esto aporta un área de 1,14 cm². Dando un total de área de refuerzo

de $2,98 \text{ cm}^2$. Con esto se ve que el área de acero de refuerzo vertical requerido es más que el mínimo requerido según el código.

Para el área de refuerzo horizontal, se tiene una sección de $2\ 684 \text{ cm}^2$, multiplicado por la cuantía requerida por el código. Se obtiene un área requerida mínima de acero de refuerzo de $1,32 \text{ cm}^2$. Como se observa en la tabla XVI. Como el panel cuenta con una altura de $2,44 \text{ m}$ y los refuerzos se encuentran a cada $0,15 \text{ m}$, se cuenta con 17 varillas distribuidas a lo alto del panel. Calculando el área de acero que eso representa, se tiene:

$$A = \pi r^2 = \pi * (0,27 \text{ cm})^2 = 0,23 \text{ cm}^2$$
$$17A = 0,23 \text{ cm}^2 * 17 = 3,89 \text{ cm}^2$$

El área de refuerzo requerida para refuerzo horizontal cumple con el mínimo requerido. Debido a que las cuantías son sobrepasadas se recomienda analizar que esto no afecte la ductilidad final del panel, volviéndolo rígido en demasía.

4.2.2. AGIES

Estas Normas surgen en 1996 como un empeño de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Esto para contribuir en la disminución de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del país, para que cuente con un medio que permita la evaluación de las edificaciones que se desarrollen en el futuro y de las ya existentes.

La filosofía de las normas está enfocada en preservar la vida de las personas que ocupan las obras y edificaciones. Así como proporcionar un grado mínimo de calidad que preserve la integridad de la obra sujeta a sollicitaciones

de cargas permanentes y frecuentes. Está enfocado en las condiciones sísmicas del país. Además cuenta con una zonificación completa de acuerdo a los tipos de terreno correspondientes a Guatemala.

La Norma AGIES NSE 4-10 es la que se refiere a construcciones para viviendas y edificaciones menores, de uno y dos niveles. Está dirigida fundamentalmente a lograr un comportamiento adecuado de la edificación cuando esta se vea sometida a un sismo.

Esta norma divide los tipos de mampostería en dos clases: la mampostería reforzada mixta, que es la que se encuentra confinada entre elementos verticales y horizontales de concreto reforzado. Y la mampostería reforzada integral. En esta el acero de refuerzo, tanto vertical como horizontal, se encuentra en celdas correspondientes a las unidades con vacíos y en el espacio de las áreas libres limitadas por las paredes de las unidades para levantado.

En la tabla 6-1 de la Norma se dictan los espesores mínimos para muros de carga, siendo el espesor mínimo para muros de concreto fundido o material prefabricado de 0,10 m. Para esto el panel entra dentro de la categoría de aceptable. Lo siguiente es verificar la cuantía de acero tanto en sentido vertical como horizontal. Para este caso se hace de cuenta que el panel entra en la categoría de refuerzo integral. Para esto se cuentan con las siguientes cuantías, que dependen de la dimensión del muro terminado y los dividen principalmente en muros altos y muros largos. Para efectos de este trabajo, el panel se analizará como unidad individual como muro alto.

Tabla XVII. **Cuantía de acero requerida según la sección transversal**

	Cuantía de acero requerida	
	Vertical	Horizontal
Muro largo	0,0008	0,0005
Muro alto	0,0005	0,0008

Fuente: elaboración propia con dato de AGIES. *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala, AGIES NSE 4-10 Requisitos prescriptivos para vivienda y edificaciones menores de uno y dos niveles.p.57-58.*

Tabla XVIII. **Acero requerido según la sección transversal bruta del panel para Norma AGIES NSE 4-10**

Área de sección (cm ²)	Área de acero requerida (cm ²)	
	Vertical	Horizontal
1 380	0,69	1,104
1 320	0,66	1,056

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los cálculos de la sección anterior, se ve que las cuantías son las adecuadas y que se cumple con la norma en cuanto a la cantidad de acero.

4.2.3. **Coguanor**

En 1962 surge la creación de la Comisión Guatemalteca de Normas. El objetivo de las Normas Coguanor es contribuir a mejorar la competitividad de las empresas nacionales. Además de elevar la calidad de los productos y

servicios que estas empresas ofertan al mercado tanto nacional como internacional. El campo de actuación de estas normas abarca a todos los sectores económicos.

5. NORMAS DE ENSAYO DE PANELES ESTRUCTURALES

5.1. Normativa para ensayos ASTM

La asociación responsable de las Normas ASTM (American Standard Test Methods) fue fundada en 1898 y es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de norma más grande del mundo. Sus normas son aplicables a casi todas las áreas, desde acero y materiales de construcción, hasta la sustentabilidad y tienen como propósito mejorar la vida de millones de personas a diario.

Con el propósito de proveer un diseño integral de ingeniería, para productos y materiales nuevos, es necesario obtener datos certeros sobre la resistencia y la rigidez de los elementos básicos utilizados en varios sistemas de construcción. Con este propósito se utilizan las siguientes normas para proveer datos de los elementos estructurales con valor para el diseño, sometiéndolos a cargas que simulan condiciones de servicio.

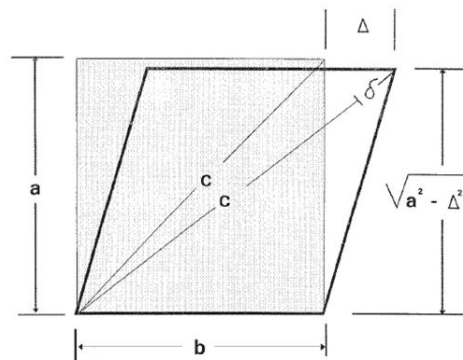
5.1.1. Ensayo a corte ASTM E564-95

Este método de ensayo permite determinar la capacidad estática al corte de una sección típica de muro bajo condiciones de carga simuladas. Al mismo tiempo que entrega un cálculo para determinar la rigidez al corte de la muestra y sus conexiones.

Esto se logra mediante el anclaje del borde inferior del muro. Se aplica una fuerza en el borde superior orientado de forma perpendicular a la dimensión

que provee altura al muro y paralela a la dimensión que provee longitud al muro. Las fuerzas necesarias para deformar la pared, de su forma rectangular inicial a una forma romboide, y los desplazamientos correspondientes a cada intervalo de carga deben ser medidos, como se ilustra en la siguiente figura.

Figura 13. **Representación de las medidas de elongación en un ensayo a corte**



Fuente: ASTM E-564-95.

Con este método lo que se pretende es simplificar el cálculo, al eliminar la necesidad de medir la rotación del cuerpo rígido y la traslación horizontal del muro.

Para este ensayo el tamaño del muro varía según el objetivo del estudio. Las dimensiones de la muestra, para los estudios que deseen analizar el comportamiento estructural de construcciones reales, deben estar en conformidad con los del muro de corte que se está simulando.

Las cargas deben aplicarse paralelas y en el tope del muro, en el plano central del mismo, utilizando en gato hidráulico o cualquier otro equipo de carga

parecido. Este deber ser capaz de mantener una tasa constante de desplazamiento para cargas continuas hasta la falla o mantener una carga estática en caso de cargas incrementales. La carga máxima debe alcanzarse en no más de cinco minutos.

5.1.2. Ensayo de carga transversal ASTM E72-02

Este ensayo se encuentra descrito en la sección 12 de dicha norma. Consiste en aplicar cargas transversales a la muestra colocada en forma vertical, simulando condiciones de servicio. La muestra, que se encuentra en un canal de acero, debe reposar en rodillos cilíndricos para prevenir condiciones restringidas en el extremo inferior. Los ejes de los rodillos deben ser paralelos a las caras de la muestra. Los dos rodillos que funcionan como soportes deben estar en contacto con la superficie del marco. Cada rodillo debe descansar horizontalmente en una esponja de hule de aproximadamente 10 mm de espesor para prevenir restricción longitudinal.

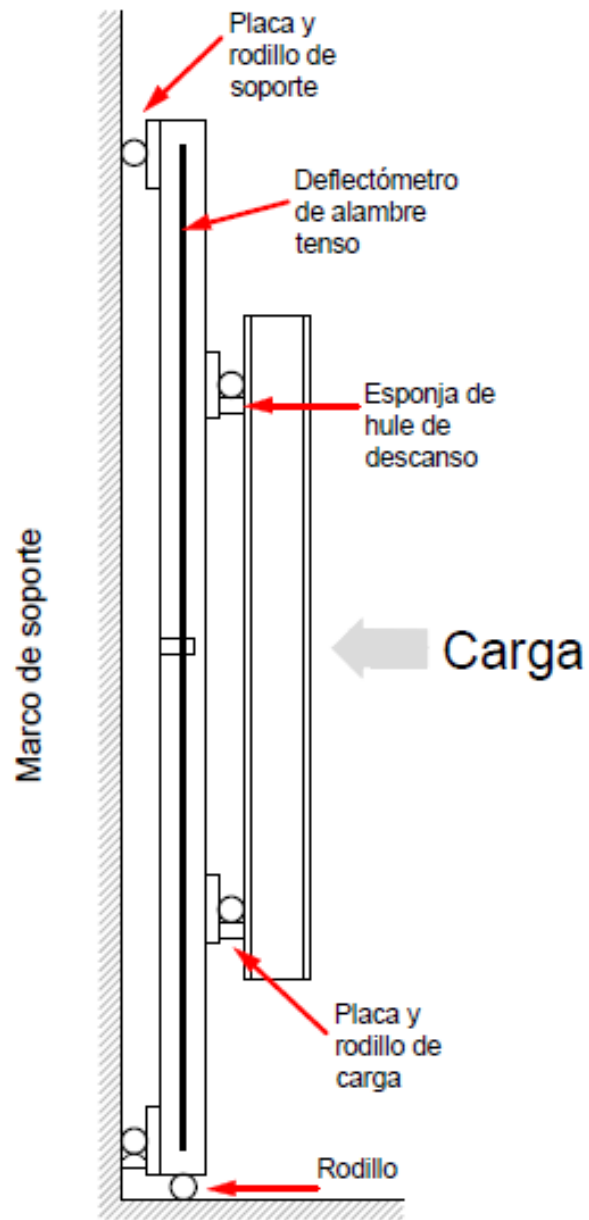
Las dimensiones de la muestra deben ser: la altura debe ser la misma que tendrá el elemento en condiciones reales y el ancho nominal de 1,20 m.

Aplicar la carga de forma horizontal, por medio de un gato hidráulico que permita medir las cargas aplicadas.

En la norma se indica que deben realizarse tres pruebas en la cara interior de la muestra y tres pruebas más para la cara exterior. Esto es cuando hubiera diferencias en la configuración estructural del muro o panel.

En la siguiente figura se muestra cómo debe ir configurado el panel y todos los elementos que debe llevar para realizarse de forma adecuada.

Figura 14. **Esquema del ensayo por carga transversal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

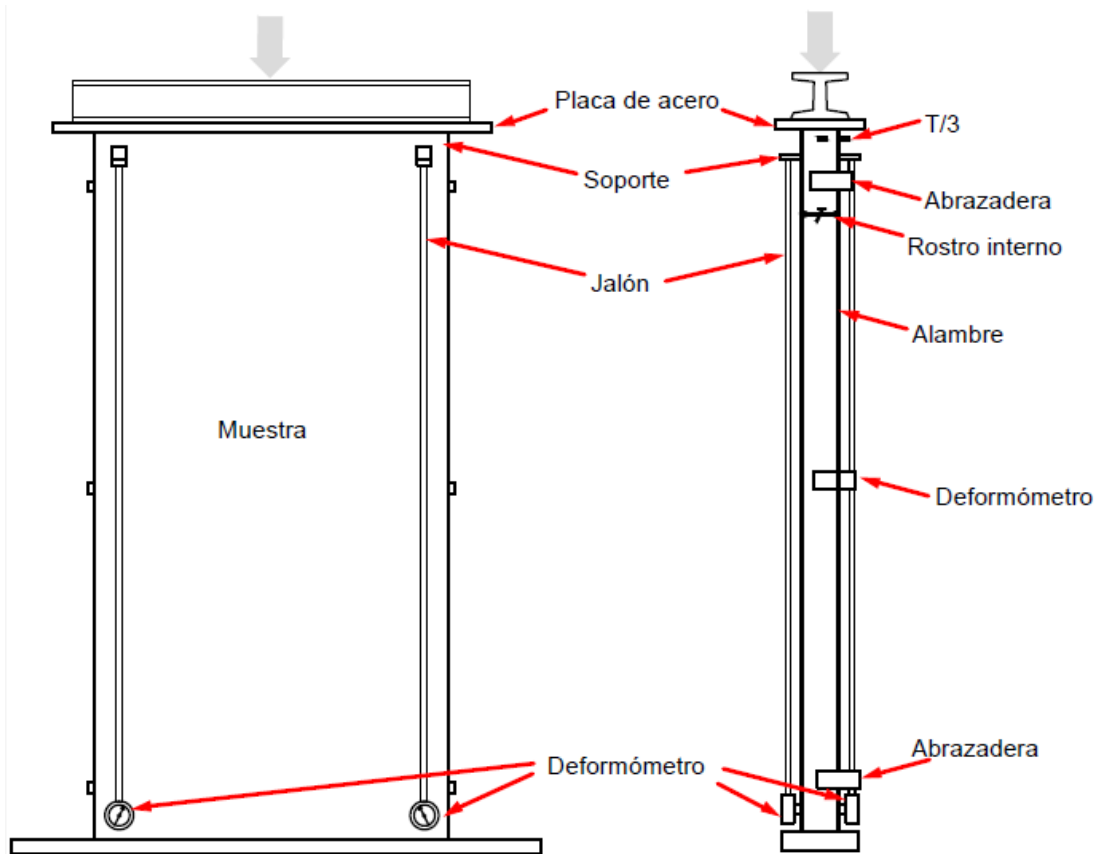
5.1.3. Ensayo a compresión ASTM E72-02

Este ensayo se encuentra descrito en la sección 9 de la referida norma y consisten en la aplicación de carga a una sección de muro. En este caso una muestra del panel, como si se tratara de una columna con borde plano en el fondo. Las cargas se aplican por medio de una placa de acero que cubre el borde superior de la muestra. Debe hacerse de forma uniforme a todo lo largo de una línea paralela a la cara interior y a un tercio del espesor de la muestra desde la cara interior.

Para realizar las lecturas de deformación correspondientes deben colocarse cuatro deformómetros. Uno cerca de cada una de las esquinas de la muestra, como se muestra en la figura 14. Para medir cualquier tipo de deformación lateral producida por la carga se colocarán dos deformómetros, uno en cada borde de la muestra.

Las dimensiones de la muestra debes ser tales que la altura sea igual a la del elemento en condiciones reales y un ancho nominal de 1,20 m.

Figura 15. Esquema del ensayo por carga de compresión



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

5.1.4. Ensayo a impacto ASTM E695-03

Este método de ensayo se utiliza para medir la resistencia relativa de muros, pisos o techos a cargas de impacto. Mediante someter las muestras a cargas de impacto por medio de un instrumento estandarizado.

Es aplicable a construcciones relativamente ligeras que incluyen pisos y cubiertas para techo de madera. Además de particiones con marcos y soportes

de madera o acero, sistemas de cubiertas de acero o madera para techos o pisos, revestimientos de acero y paneles para muros, y muros delgados de concreto o mampostería y losas y cualquier tipo de sistemas similares.

Las muestras deberán ser representativas a la construcción real, en cuanto al material, método de ensamblaje y mano de obra. Las dimensiones deben ser elegidas de tal manera que se aproximen a las dimensiones reales del elemento. El espesor de la muestra debe ser, en la medida de lo posible, uno que permita la presencia de varios de los miembros portantes principales. Esto para asegurar que el comportamiento bajo carga simule el anticipado ante cargas de servicio. El espesor real debe ser un número entero multiplicado por el espaciamiento entre elementos portantes principales; excepto en el caso de paneles prefabricados, donde el espesor de la muestra será el mismo del panel terminado.

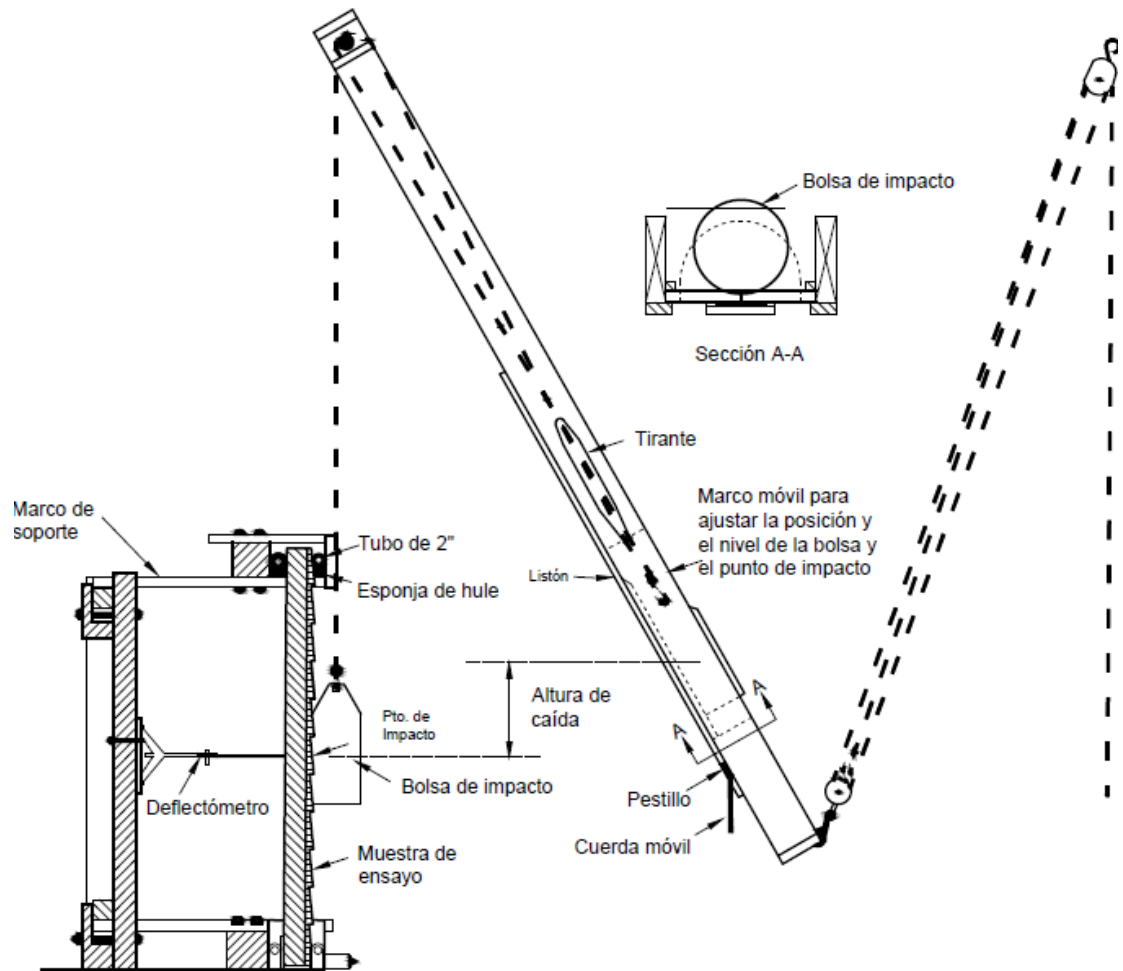
En caso de que el elemento sea asimétrico en su construcción, que tenga distintas configuraciones en las caras interior y exterior, deberán realizarse un mínimo de dos ensayos por cara. Si este no fuera el caso se realizará dos ensayos, aplicando la carga en la cara interior y uno en la cara exterior. Si el elemento tuviera elementos estructurales internos se debe hacer el ensayo de forma que al menos uno de estos elementos sea golpeado por la carga de impacto. También debe realizarse uno de forma que el golpe sea entre dos de estos elementos.

Para realizar el ensayo se debe colocar la muestra en posición vertical (cuando se trate de muros) sobre rodillos cilíndricos, para prevenir restricciones transversales. Los ejes de los rodillos deben estar paralelos a las caras de la muestra. Los dos rodillos de soporte deben estar en contacto con el marco rígido y cada rodillo debe descansar en una esponja de hule de 16 ± 3 mm de

espesor, para prevenir restricciones longitudinales. La bolsa que se utiliza como instrumento de impacto debe estar colocada simulando un péndulo, como se muestra en la figura 16. Aplicar una carga de impacto en el centro de la cara exterior de la muestra, al soltar la bolsa empezando de una altura de 152 ± 6 mm e incrementándola a intervalos de 152 ± 6 mm. La altura útil máxima de caída aquella será en la que el péndulo o marco, sea perpendicular a la muestra.

La altura de la caída se debe medir desde el punto de impacto del centro gravitacional de la bolsa. Esto cuando impacta en la muestra hasta el mismo punto, y se encuentra en su posición elevada. La bolsa se debe soltar suave y rápidamente de forma que oscile como un péndulo real evitando el bamboleo.

Figura 16. Esquema del ensayo por carga de impacto para muestras verticales



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PANELES ESTRUCTURALES Y PILASTRA METÁLICA

Todos los ensayos en este capítulo referidos fueron realizados en el área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII). Haciendo uso del equipo y los instrumentos allí disponibles, acatando las normas preestablecidas y descritas en el capítulo anterior.

Para asegurar el comportamiento en servicio de los paneles, se les dio un tiempo de fraguado mínimo de 28 días, sin superar los 56 días.

6.1. Ensayo a flexión

El procedimiento empleado para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Colocación de la muestra en el marco rígido, comprobando que quede nivelado en posición vertical. Esto para asegurar que la carga sea aplicada de forma completamente perpendicular a la cara de carga.
- Se aplica la carga por medio de una viga de acero apoyada en dos rodillos de acero. La carga se incrementa en intervalos regulares (200 PSI) y se anota la deformación producida por cada incremento, tomando como base la lectura inicial marcada por el deflectómetro.

- Se continúan los incrementos de carga hasta llegar a cualquiera de las siguientes opciones: a) se alcanza la deformación máxima aceptable o b) se alcanza la carga máxima aceptable.
- Una vez llegada cualquiera de las dos condiciones anteriores se descarga la muestra por completo y se toma la lectura de deformación remanente.
- Se vuelve a aplicar carga en la muestra hasta llegar a la falla.

Figura 17. **Ensayo por cargas transversales**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Sección de Estructuras. USAC.

6.1.1. Equipo utilizado

A continuación se describe el equipo que se utilizó. El mismo fue dado en préstamo para los ensayos por los encargados en la sección de estructuras. Se describe también el uso que se le dio a cada cosa.

- Marco rígido: utilizado para colocar la muestra en su posición vertical.
- Rodillos de acero: para proporcionar apoyos no restrictivos en los bordes y para transmitir la carga a la muestra.
- Deflectómetro: colocado en el centro de la luz de la muestra.
- Gato hidráulico: marca OWATONNA de capacidad máxima de 10 ton y un área efectiva de 2,47 in².
- Viga de acero: utilizada junto con los rodillos para transmitir la carga a la muestra.

6.1.2. Datos y resultados obtenidos

Por medio de tablas y gráficas se muestra el resultado obtenido en los ensayos. Estos serán explicados para describir el comportamiento de los paneles bajo cargas flexionantes.

Tabla XIX. **Características físicas de los paneles**

Dimensiones promedio		Peso panel Kg
Espesor (cm)	11,12	245,43
Largo (cm)	244,29	
Ancho (cm)	122,29	

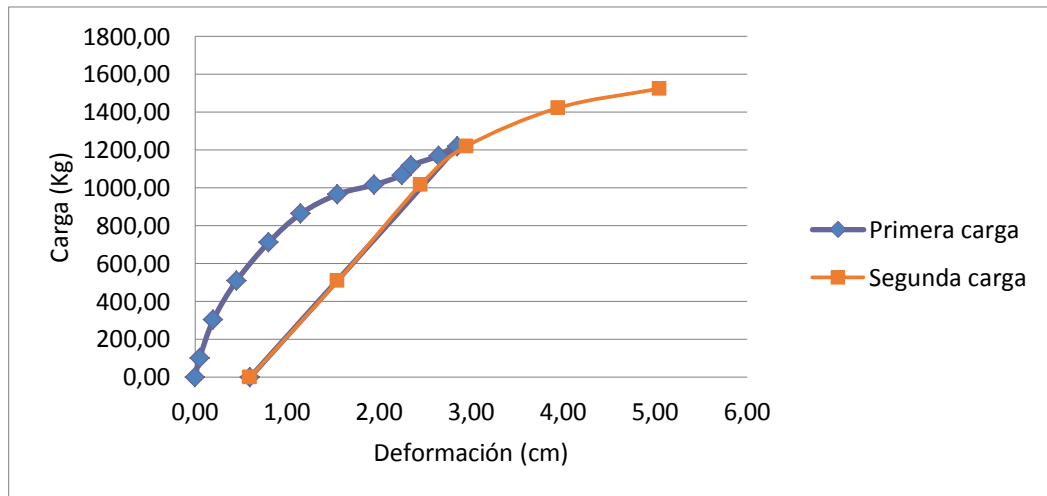
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 1**

PANEL 1 10-01-2014		
ESFUERZO (PSI)	P (Kg)	DEFORMACION (cm)
0	0,00	0,00
100	101,60	0,05
300	304,81	0,20
500	508,02	0,45
700	711,23	0,80
850	863,64	1,15
950	965,24	1,55
1 000	1 016,05	1,95
1 050	1 066,85	2,25
1 100	1 117,65	2,35
1 150	1 168,45	2,65
1 200	1 219,26	2,85
0	0,00	0,60
500	508,02	1,55
1 000	1 016,05	2,45
1 200	1 219,26	2,95
1 400	1 422,47	3,95
1 500	1 524,07	5,05

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 1. Ensayo a flexión**



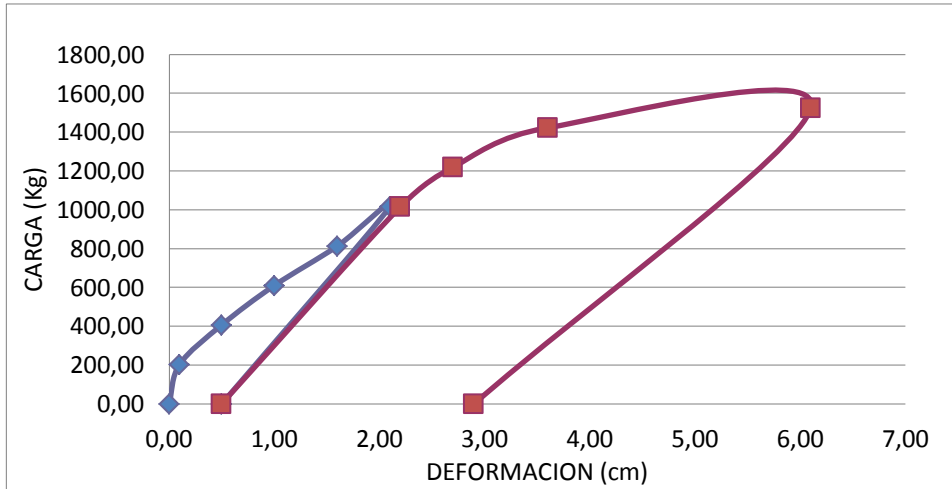
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 2**

PANEL 2 13-01-2014		
ESFUERZO (PSI)	P (Kg)	DEFORMACIÓN (cm)
0	0,00	0,00
200	203,21	0,10
400	406,42	0,50
600	609,63	1,00
800	812,84	1,60
1 000	1 016,05	2,10
0	0,00	0,50
1 000	1 016,05	2,20
1 200	1 219,26	2,70
1 400	1 422,47	3,60
1 500	1 524,07	6,10
0	0,00	2,90

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 2.**
Ensayo a flexión



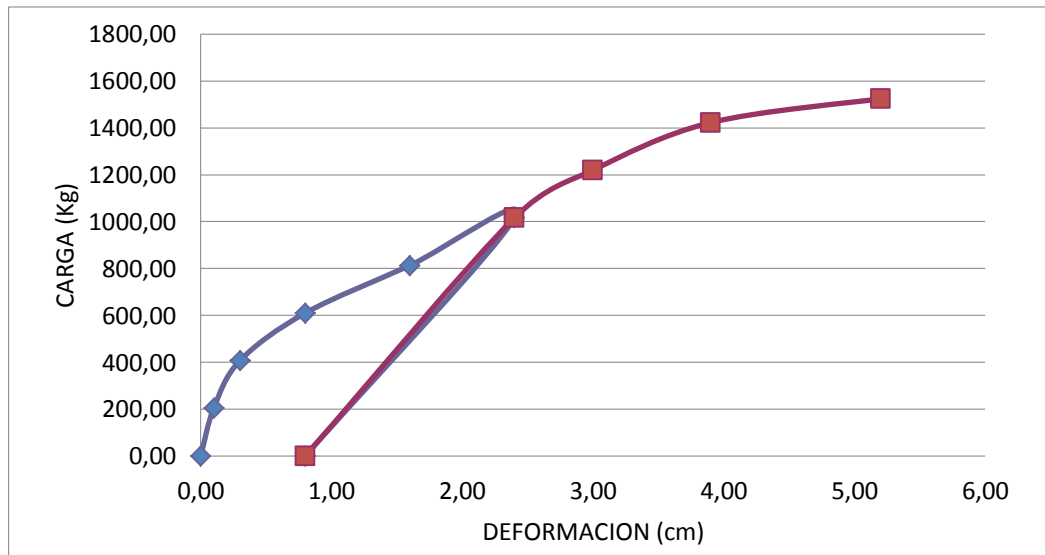
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Registro de datos de ensayo bajo carga transversal panel 3**

PANEL 3 14-01-2014		
ESFUERZO (PSI)	P (Kg)	DEFORMACIÓN (cm)
0	0,00	0,00
200	203,21	0,10
400	406,42	0,30
600	609,63	0,80
800	812,84	1,60
1 000	1 016,05	2,40
0	0,00	0,80
1 000	1 016,05	2,40
1 200	1 219,26	3,00
1 400	1 422,47	3,90
1 500	1 524,07	5,20

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Gráfica del comportamiento carga-deflexión de panel 3. Ensayo a flexión**



Fuente: elaboración propia.

6.1.2.1. Análisis de los resultados

Para el mejor análisis de los datos que se obtuvieron con este ensayo, se empieza con hacer una tabla de datos donde estén por panel ensayado y el promedio de los tres paneles ensayados.

Tabla XXIII. **Datos presentados en los ensayos**

	Panel 1		Panel 2		Panel 3	
	Carga (Kg)	Deformación (cm)	Carga (Kg)	Deformación (cm)	Carga (Kg)	Deformación (cm)
Zona Elastoplástica	250,17	0,15	266,67	0,12	361,11	0,21
Zona Plástica	613,79	0,58	540,00	0,78	555,56	0,60

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Promedio de los datos de los tres ensayos**

	Promedio	
	Carga (Kg)	Deformación (cm)
Zona Elastoplástica	292,65	0,16
Zona Plástica	569,78	0,65

Fuente: elaboración propia.

Por medio del análisis de las gráficas se observa que el panel mantiene un comportamiento elástico hasta una carga de 292 Kg. A partir de este punto entra a un estado elasto-plástico donde el aumento de carga empieza a producir pequeñas grietas en las muestras, especialmente en las partes donde se encuentra el refuerzo embebido, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. **Agrietado del panel**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Estructuras. USAC.

Pasados los 570 kg de carga, el panel empieza a mostrar señales de plasticidad con deformaciones superiores para cada incremento de carga y una recuperación nula en el elemento. Esta carga debe ser considerada como la carga última de trabajo para el elemento. Pues aún es capaz de soportar carga, pero ya su funcionalidad estructural se encuentra comprometida.

En los tres casos de ensayo, la última carga registrada antes de que el panel dejara de soportar más, fue de 1 525 kg. Por ello se toma esta carga como la carga última de falla.

6.2. Ensayo a compresión

Se procedió de la siguiente manera para la realización de este ensayo:

- Se coloca la muestra del panel en el marco de carga, sobre esponjas de caucho.
- Se centran y nivelan las caras exteriores (donde se tomarán las medidas de deformación) y un canto.
- Se aplica carga compresiva en la muestra con aumentos regulares de carga, en este caso de 2 000 lb (909,09 kg) y se procede a tomar las medidas de deformación producidas por dicha carga.
- Se anotan la primera y la carga máxima que soporta la muestra.

Debido a complicaciones en el proceso de fabricación en los paneles para el ensayo, algunos ensayos mostraron datos que no proporcionaban información confiable. Por ello se procedió a tomar solo los datos del ensayo más certero y que no presentó complicaciones.

Figura 22. **Ensayo por compresión**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Estructuras. USAC.

6.2.1. Equipo utilizado

Este ensayo se realizó a partir del equipo existente en la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC. En todo

momento de los ensayos se contó con la supervisión de los ingenieros a cargo de las máquinas.

- Marco de carga ubicado en el Centro de Investigaciones de Ingeniería en la Sección de Estructuras.
- Dos deformómetros: uno colocado en la cara exterior del panel a media luz y el segundo colocado en el canto en el tercio inferior de la luz libre de la muestra.
- Cintas métricas colocadas a lo largo de la muestra para medir cualquier encogimiento en la misma.

6.2.2. Datos y resultados obtenidos

En esta sección se describen los resultados de los ensayos por medio de tablas y gráficas, para representar el comportamiento que tienen los paneles bajo cargas compresivas.

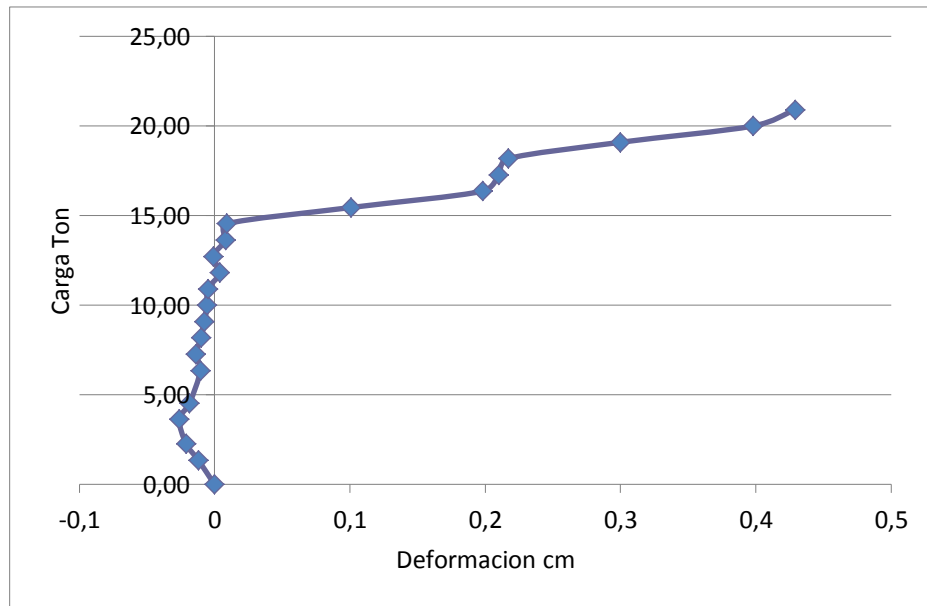
Tabla XXV. **Registro de datos de ensayo bajo carga de compresión en la cara exterior**

Deformómetro 1

Carga lb	Carga Kg	deformación cm
0	0,00	0
3 000	1 363,64	-0,012
5 000	2 272,73	-0,021
8 000	3 636,36	-0,026
1 0000	4 545,45	-0,0185
1 4000	6 363,64	-0,0105
1 6000	7 272,73	-0,014
1 8000	8 181,82	-0,01
2 0000	9 090,91	-0,0075
2 2000	10 000,00	-0,0055
2 4000	10 909,09	-0,005
2 6000	11 818,18	0,004
2 8000	12 727,27	-0,001
3 0000	13 636,36	0,008
3 2000	14 545,45	0,009
3 4000	15 454,55	0,101
3 6000	16 363,64	0,198
3 8000	17 272,73	0,21
4 0000	18 181,82	0,217
4 2000	19 090,91	0,3
4 4000	20 000,00	0,398
4 6000	20 909,09	0,429

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Gráfica del comportamiento carga-deformación.
Ensayo a compresión**



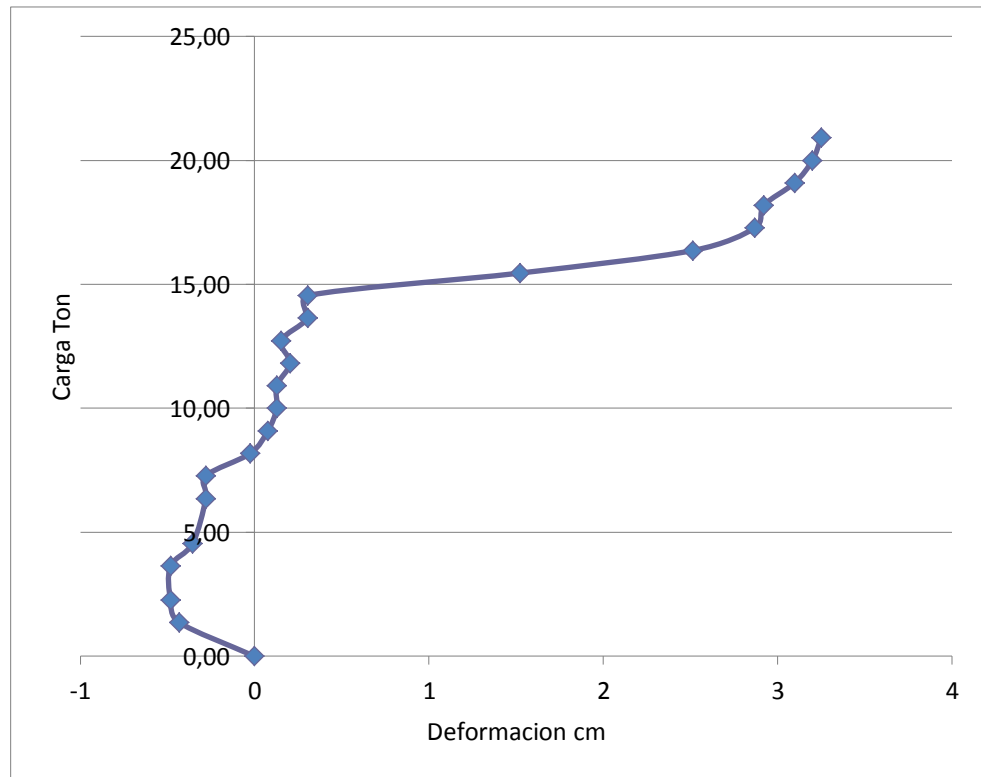
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Registro de datos de ensayo bajo carga de compresión en el canto de la muestra**

Carga lb	Carga Kg	Deformación cm
0	0,00	0
3 000	1 360	-0,4318
5 000	2 270	-0,4826
8 000	3 640	-0,4826
10 000	4 550	-0,3556
14 000	6 360	-0,2794
16 000	7 270	-0,2794
18 000	8 180	-0,0254
20 000	9 090	0,0762
22 000	10 000	0,127
24 000	10 910	0,127
26 000	11 820	0,2032
28 000	12 730	0,1524
30 000	13 640	0,3048
32 000	14 550	0,3048
34 000	15 450	1,524
36 000	16 360	2,5146
38 000	17 270	2,8702
40 000	18 180	2,921
42 000	19 090	3,0988
44 000	20 000	3,2004
46 000	20 910	3,2512

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica del comportamiento carga-deformación.
Ensayo a compresión**



Fuente: elaboración propia.

6.2.2.1. Análisis de los datos obtenidos

Con estas gráficas se observa que en los momentos iniciales de carga todos los elementos que lo conforman se empezaron a acoplar. Por ello, en el inicio de la carga la gráfica no muestra un comportamiento típico. Debido a que los varios elementos que conforman el panel: *Joist*, monoport y las cáscaras de mortero, necesitaban de un acomodo interno para funcionar como un solo elemento y resistir de manera conjunta las cargas a las que estaba siendo sometido el panel.

Hasta el punto de carga de 11,82 ton se empieza a ver que el panel trabaja como un solo elemento. Aunque presenta un sobresalto en el punto 12,73 ton, esto indica un último acomodo de sus elementos. Debido a esta irregularidad en el comportamiento del panel, no es posible determinar el límite de proporcionalidad.

A partir del punto de 14,55 ton, el panel se empieza a comportar de forma elastoplástica. Con deformaciones mayores a cada incremento de carga, hasta llegar a su punto plástico en 16,36 ton.

De esta forma se define que el panel presenta una carga máxima de trabajo de 15,45 ton. Lo que al dividirla entre la sección transversal da el esfuerzo máximo de compresión:

$$\sigma_c = \frac{15\,450\text{ Kg}}{11\text{ cm} \times 120\text{ cm}} = 11,70 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

6.3. Ensayo a corte

Durante el proceso de fraguado de las muestras para el ensayo, la colocación de los paneles provocó que se deformaran. Por ello fue imposible su utilización para los ensayos requeridos. Y se procedió a buscar una forma alternativa para determinar la capacidad de resistir el esfuerzo de corte de los paneles. Mediante el análisis de los resultados obtenidos en el ensayo de flexión y observaciones relacionadas con la tercera ley de Newton (Principio de acción-reacción), se realizó una curva que determina, en forma teórica, los valores que describen el comportamiento de un panel sometido a esfuerzos de corte.

Posteriormente, por medio de un análisis de energía se corroboraron los datos obtenidos con este método. Además está respaldado por las experiencias

de análisis de otros ensayos realizados en la sección de estructuras de la facultad de ingeniería.

6.3.1. Datos y resultados obtenidos

En esta sección se hace una sola tabla en la que se toman medidas de carga básicas. Estas cargas llevan el incremento típico que es mandado por las normas de ensayos de laboratorio.

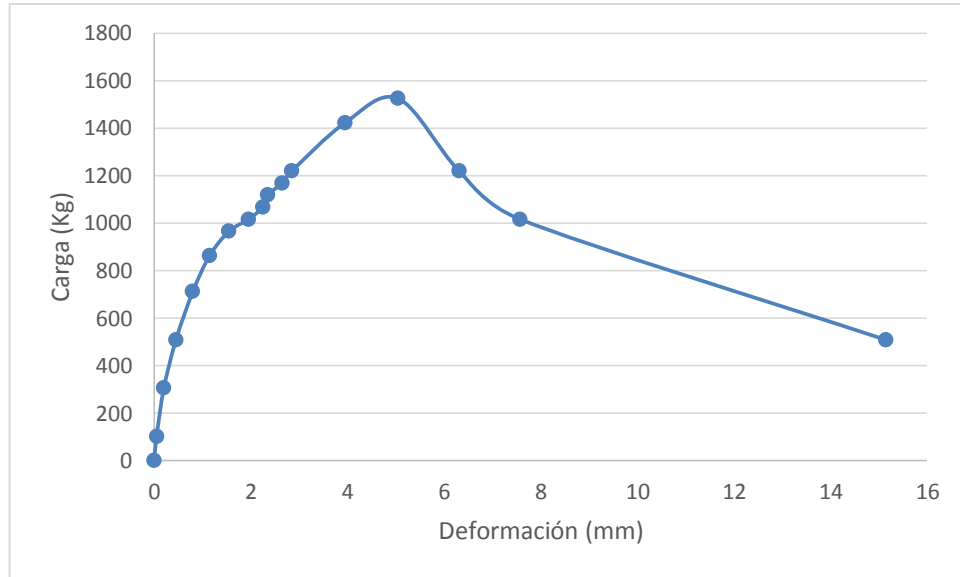
La deformación se calculó utilizando teorías de absorción de energía, comparadas con las deformaciones que presentó el panel en compresión y flexión.

Tabla XXVII. **Tabla de datos del comportamiento carga-deformación.
Ensayo a corte**

Carga		Desplazamiento	
lb	Kg	cm	mm
0	0	0	0
223,94	101,60	0,00	0,05
671,81	304,81	0,02	0,20
1 119,68	508,02	0,04	0,45
1 567,56	711,23	0,08	0,80
1 903,46	863,64	0,12	1,15
2 127,40	965,24	0,16	1,55
2 239,37	1 016,05	0,20	1,95
2 351,34	1 066,85	0,23	2,25
2 463,30	1 117,65	0,24	2,35
2 575,27	1 168,45	0,27	2,65
2 687,24	1 219,26	0,29	2,85
3 134,09	1 422,00	0,40	3,95
3 358,90	1 524,00	0,51	5,05
2 686,68	1 219,00	0,63	6,31
2 239,26	1 016,00	0,76	7,58
1 119,63	508,00	1,52	15,15

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Gráfica del comportamiento carga-deformación.
Ensayo a corte**



Fuente: elaboración propia.

Si se observa con detenimiento la curva, se toma hasta un valor de 1 524 kg de capacidad de resistencia a la compresión, como la capacidad máxima de absorción de energía que tiene el panel. Al dividirlo entre el área de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo a corte:

$$\tau = \frac{P}{A_c} = \frac{1\,524\text{ Kg}}{11\text{ cm} \times 120\text{ cm}} = 1,15\text{ Kg/cm}^2$$

Posteriormente se puede calcular un estimado del valor de corte al dividir el esfuerzo de compresión entre ocho. Obteniendo como resultado:

$$\tau = \frac{\sigma_c}{8} = \frac{11,70\text{ Kg/cm}^2}{8} = 1,46\text{ Kg/cm}^2$$

En ambos casos se obtiene un valor muy aproximado del esfuerzo de corte de los paneles. Ambos valores se encuentran muy cercanos el uno del otro, por lo que podemos tomar 1,15 Kg/cm² como el valor aceptable.

6.4. Ensayo a impacto

El procedimiento que se llevó a cabo para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Se colocó el panel de muestra en el marco rígido que sirve de soporte, para simular las condiciones de servicio.
- En el centro de la luz de la muestra se colocó un deformómetro, en la cara opuesta a la que debería de recibir los impactos.
- Luego se procedió a la colocación de la bolsa que serviría de instrumento contundente para el ensayo, de forma que la masa siempre golpeará al centro del panel. La bolsa está hecha de acuerdo a lo normado en la ASTM E695-03 y tiene un peso de 30 kg.
- Se aplicaron cargas de impacto en el panel de muestra, en el centro de la luz de la cara exterior, hasta que este presentó falla, se hicieron variaciones en la altura de la que debía soltarse la bolsa.
- Por medio de un estadal se medían las alturas a las que debía soltarse el instrumento contundente. Estas alturas fueron en aumentos de 15 cm.

Figura 26. **Ensayo por carga de impacto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Sección de Estructuras. USAC.

6.4.1. Equipo utilizado

A continuación se enumeran los instrumentos que se utilizaron para la correcta realización del ensayo a impacto.

- Marco rígido para soportar la estructura.
- Rodillos de acero para proveer soporte a la muestra sin provocar restricciones laterales.
- Deformómetro con 1 mm de valor de incerteza.
- Instrumento contundente (bolsa realizada de acuerdo a la Norma ASTM E 695-03).
- Estadal para medir las alturas desde las que se suelta la masa.

6.4.2. Datos y resultados obtenidos

A partir de los datos del ensayo con caída libre a diferentes alturas se puede determinar, con la ayuda de la ecuación de energía potencial, la energía de impacto del saco de cuero contra el panel ensayado.

$$E = m \times g \times h$$

Donde:

E: energía de impacto (J)

m: es la masa (kg)

g: es la aceleración de la gravedad 9,81 (m/s²)

h: es la altura de caída (m)

En la siguiente tabla se muestran los datos obtenidos del ensayo realizado por impacto con el saco de cuero, de acuerdo a la norma. Se puede apreciar la deformación sufrida por el panel en el momento del impacto. Este valor se muestra bajo la denominación de deformación instantánea, que es la que se

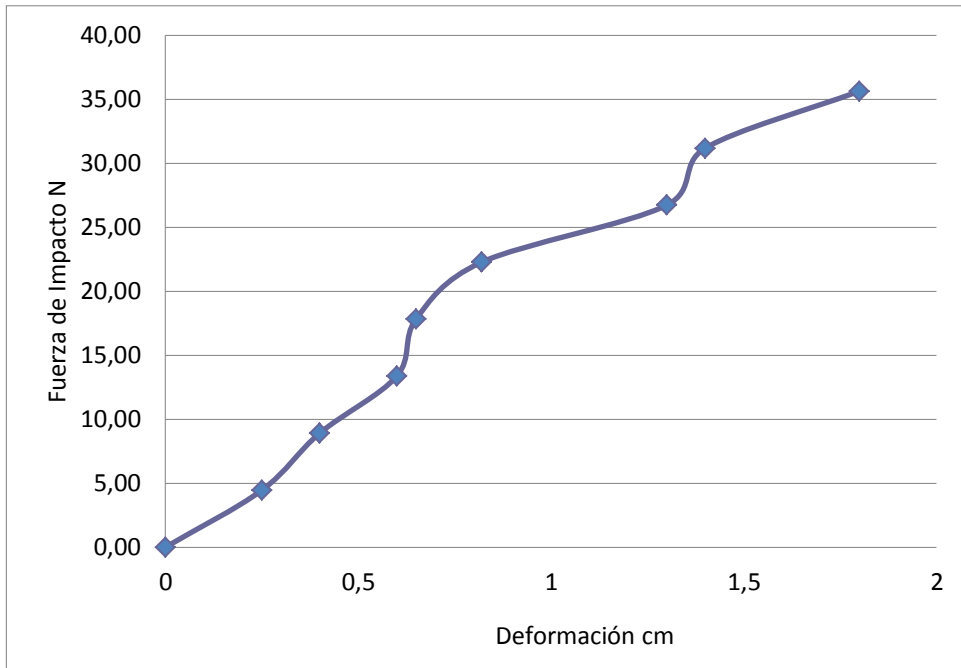
produce inmediatamente después de realizar el choque. Por otro lado, se muestra el dato de la deformación permanente. Esta es la que se mantiene en el panel una vez finalizado el ensayo.

Tabla XXVIII. Registro de datos de ensayo bajo carga de impacto

No	ALTURA m	PESO Kg	Ea Joules	FUERZA Newton	DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA cm	DEFORMACIÓN RESIDUAL cm
0	0	30	0	0	0	0
1	0,15	30	44,15	43,7	0,25	0,1
2	0,3	30	88,29	87,41	0,4	0,1
3	0,45	30	132,44	131,11	0,6	0,15
4	0,6	30	176,58	174,81	0,65	0,15
5	0,75	30	220,73	218,52	1,45	0,25
6	0,9	30	264,87	262,22	1,3	0,25
7	1,05	30	309,02	305,92	1,4	0,25
8	1,2	30	353,16	349,63	2,25	0,3

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Gráfica del comportamiento ensayo a impacto**



Fuente: elaboración propia.

6.4.2.1. Análisis de los resultados

Para el análisis de los resultados de este ensayo, se utilizó como base la Norma IRAM 11.585 para calcular los criterios de aceptación. Esta norma indica:

- Deformaciones permanentes: bajo un choque de 135 J, con una altura de caída de la bolsa igual a 0,45 m, se debe verificar que la flecha residual sea menor que el 0,20 % de la altura del muro ensayado.
- Resistencia mecánica: bajo un choque de 180 J, con una altura de caída de la bolsa igual a 0,60 m, el muro no debe sufrir ningún deterioro visible

que ponga en riesgo a los habitantes del recinto. Bajo el choque de 360 J, con una altura de caída de 1,20 m, el muro no debe ser atravesado por la bolsa o ser deteriorado de manera tal que comprometa la seguridad de los ocupantes.

Bajo estos criterios se analizan los datos y se ve que:

- A 135 J la flecha residual debe ser menor que $0,002 \cdot 2,44\text{m} = 0,00488\text{ m}$, lo que equivale a 0,49 cm. En efecto, esto se cumple en el panel ensayado.
- A un choque de 180 J no se debe sufrir de ningún daño que ponga en riesgo la vida de los habitantes. Durante todo el ensayo los paneles presentaron pequeñas fisuras que aparecieron gradualmente a partir del impacto a 60 cm (180 J). Como ya se había dicho, estas fisuras corresponden a los sitios donde el refuerzo se encuentra embebido y son solo en las cáscaras de mortero que recubre el panel.

Figura 28. **Grietas presentadas durante el ensayo de impacto**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Sección de Estructuras. USAC.

Sin embargo, en todo el ensayo, no se presentó ningún tipo de fractura o cualquier otro tipo de daño que pudiera significar peligro a los habitantes de una residencia construida con este sistema. No se atravesó el panel en ninguna de las caídas y todo tipo de daño pudiera ser fácilmente reparado sin la necesidad de ayuda profesional o especialmente capacitada.

6.5. Comparación entre los datos requeridos por las normas o recomendaciones de construcción y los datos obtenidos en ensayos

Para hacer esta comparación se realizó una tabla en la que se encuentran todos los códigos y recomendaciones de construcción. Para esto, se tomó la

altura del panel como la altura del nivel. Es decir, en el caso del UBC que dice que la deformación no debe exceder de 0,025 la altura del nivel, la deformación sería:

$$\Delta_M = 0,025h = 0,025 \times 244 \text{ cm} = 6,10 \text{ cm}$$

Luego, en las gráficas de esfuerzo deformación, para cada ensayo, se analizó la carga a la cual se produjo dicha deformación.

Tabla XXIX. Comparación entre los datos obtenidos por medio de los ensayos y los datos requeridos

Ensayo	Norma, Código o Recomendación para la construcción.		Resultados obtenidos	Variación		
				Absoluta	Relativa	
Compresión	Internacionales	IBC	10 000 Kg	15 450 Kg	5 450	35,28 %
		UBC	19 090 Kg		-3 640	23,56 %
	Nacionales	AGIES	18 210 Kg		-2 760	17,86 %
		FHA	3 600 Kg		11 850	76,70 %
Flexión	Internacionales	IBC	760 Kg	570 Kg	- 190	1,23 %
		UBC	1 248 Kg		- 678	4,39 %
	Nacionales	AGIES	7 543 Kg		-6 973	45,13 %
		FHA	544 Kg		26	0,17 %
Corte	Internacionales	IBC	1 024 Kg	1 524 Kg	500	3,24 %
		UBC	1 223,5 Kg		301	1,94 %
	Nacionales	AGIES	1 100 Kg		424	2,74 %
		FHA	1 495 Kg		29	0,19 %

Fuente: elaboración propia.

- Para los datos requeridos por el FHA se utilizó el código ACI 318-2007 tabla 9.5 (b) ya que en su capítulo IX, punto 11, dicta que, para el análisis de cargas se debe utilizar el criterio del ACI vigente.

- Los datos requeridos por el código UBC fueron calculados de acuerdo a la sección 1630.10.2 donde dicta que la máxima deformación por nivel no debe exceder de 0,025 la altura de dicho nivel, donde el período fundamental sea menor de 0,7 segundos.
- Los datos requeridos por el código IBC fueron calculados de acuerdo a la sección 1617.4.6.1 y tabla 1617.3 donde dicta que la deformación máxima aceptable no debe exceder de 0,010 la altura del nivel.
- Los datos requeridos por AGIES fueron calculados según el punto 4.3.3 de NSE3, tabla 4-1 donde se indica que la deriva máxima admisible debe tomarse como 0,020 la altura del nivel.

CONCLUSIONES

1. Luego de hechos los análisis de los ensayos y de haber calculado los requerimientos de las normas, se puede concluir que el sistema de panel estructural y pilastra metálica no presenta resultados que satisfagan las demandas de un sistema sismo resistente.
2. Al realizar los ensayos de flexión y de impacto se pudo notar que la mayoría de fallas, que se producían en el elemento, eran provocadas por el refuerzo metálico. Este, al doblarse, producía rajaduras en la cara opuesta a la aplicación de la carga, dañando el recubrimiento de mortero y afectando su apariencia y creando un posible problema de goteras y humedad en los ambientes.
3. Al aplicarse la carga de compresión, el elemento presenta fallas por aplastamiento.
4. Las normativas nacionales que se refieren a la construcción de viviendas no tienen una sección donde puedan verificarse las construcciones con paneles prefabricados, solo métodos tradicionales de mampostería.
5. Los paneles tienen un comportamiento adecuado bajo las cargas de flexión y de corte. Sin embargo, debido a estar constituidos por varias partes, de distintos materiales, al momento de ser sometidos a cargas de compresión, sus elementos empiezan trabajando no como conjunto,

sino que requieren de una carga inicial para constituirse como un solo elemento.

6. Derivado de los ensayos se define que el panel cuenta con un problema de esbeltez que se hace evidente en el cambio de ejes que se muestra en las deformaciones producidas al aplicar cargas compresivas. Esto puede ser producto de que el panel está compuesto por dos cáscaras semirrígidas con un centro de poliestireno que no aporta rigidez, sirve principalmente para integrar el elemento.
7. Al hacer los análisis del ensayo a corte, se ve que el elemento presenta una resistencia de 1 524 kg. Esto indica que cumple con las normativas, tanto nacionales como internacionales.
8. Al hacer los análisis del ensayo a flexión, se ve que el elemento presenta una resistencia última de trabajo de 570 kg. Esto indica que el panel no presenta un comportamiento aceptable, aunque continúa soportando carga hasta 1 525 kg, ya es en un estado plástico, donde se presenta riesgo para los posibles habitantes de la edificación.
9. Al analizar los resultados del ensayo a compresión, se obtiene una resistencia última de carga de trabajo de 15 450 kg, lo que significa un esfuerzo de 11,70 kg/cm². Esto significa que el panel cumple con lo establecido por el IBC y las recomendaciones de construcción de FHA.
10. Al hacer las comparaciones entre los datos obtenidos en los ensayos y los datos que piden los reglamentos y recomendaciones de construcción, se ve que el sistema presenta algunas deficiencias en cuanto a la resistencia a flexión, ya que las solicitadas por los códigos

son mayores a las que resistió el panel en el ensayo. En cuanto al ensayo a corte se puede ver que sí cumple con las normas tanto nacionales, como internacionales.

11. Además, se nota que con respecto a resistencias, este sistema puede ser aprobado, solamente por las recomendaciones de construcción del FHA, en compresión, corte y flexión. Para los otros códigos o normas, presenta deficiencias en resistencia a compresión y flexión. Esto es según UBC y AGIES, con una variación de hasta 45 % para flexión. Únicamente deficiencia en flexión según el UBC, con variación del 4,5 %.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar este sistema de construcción para edificaciones de baja importancia y en lugares de bajo riesgo sísmico, debido a las deficiencias estructurales que presenta.
2. Implementar un sistema de normas que, además de dar los métodos de ensayo y construcción adecuados, también brinden apoyo al momento de la creación de nuevos métodos constructivos. Esto para brindar nuevas opciones de construcción sin tener que recurrir a códigos y normas extranjeras.
3. Crear algún tipo de concurso para fomentar la investigación de nuevos métodos y materiales que puedan ser de ayuda para mitigar el flagelo de la habitación deficiente en el país.
4. Analizar con más detalle el comportamiento de los paneles bajo cargas de compresión, para determinar una forma de proveer estabilidad en el elemento.
5. Verificar que opciones se tienen para evitar que el refuerzo embebido produzca fisuras en el exterior de los paneles. Pudiendo, aumentar el espesor de la cáscara de mortero o aumentar el diámetro del refuerzo.
6. Debido a los problemas de rajaduras que se producen en el panel, debidos a los refuerzos embebidos, y a la poca resistencia a esfuerzos flexionantes, no se recomienda la utilización de este sistema en losas

de entrepiso, ni losas finales; ya que pueden traer consecuencias negativas, no solo en la apariencia sino en la habitabilidad del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALDANA, Andrea. *Diseño del marco de carga para la determinación de esfuerzos combinados de corte y compresión a escala natural*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2005. 147 p.
2. ASTM. *What is ASTM*. [en línea].
<https://www.astm.org/ABOUT/history_book.html>. [Consulta: 23 de agosto de 2015].
3. CORZO, Mario Rodolfo. *Notas mampostéricas de una sabandija*. Guatemala. 2010. 132 p.
4. CUITIÑO ROSALES, Guadalupe; ESTEVES, Alfredo; MALDONADO, Noemí Graciela; ROTONDARO, Rodolfo. *Comportamiento mecánico de muros prefabricados de quincha-INCIHUSA-CONICET-MENDOZA*. [en línea].
<https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0CEcQFjAFahUKEwjM9qysnMfHAhWEqx4KHXYcAIA&url=http%3A%2F%2Fcybertesis.uach.cl%2Ftesis%2Fuach%2F2006%2Fbmfir127a%2Fdoc%2Fbmfir127a.pdf&ei=Z_DdVYynLoTXeoW5i4AF&usg=AFQjCNHrqLGDEJMBN8Qrq_QbXBZb5k80TA&sig2=_vUuJwd4Bw8fVQVKwjIlyg&cad=rja>. [Consulta: 22 de agosto de 2015].

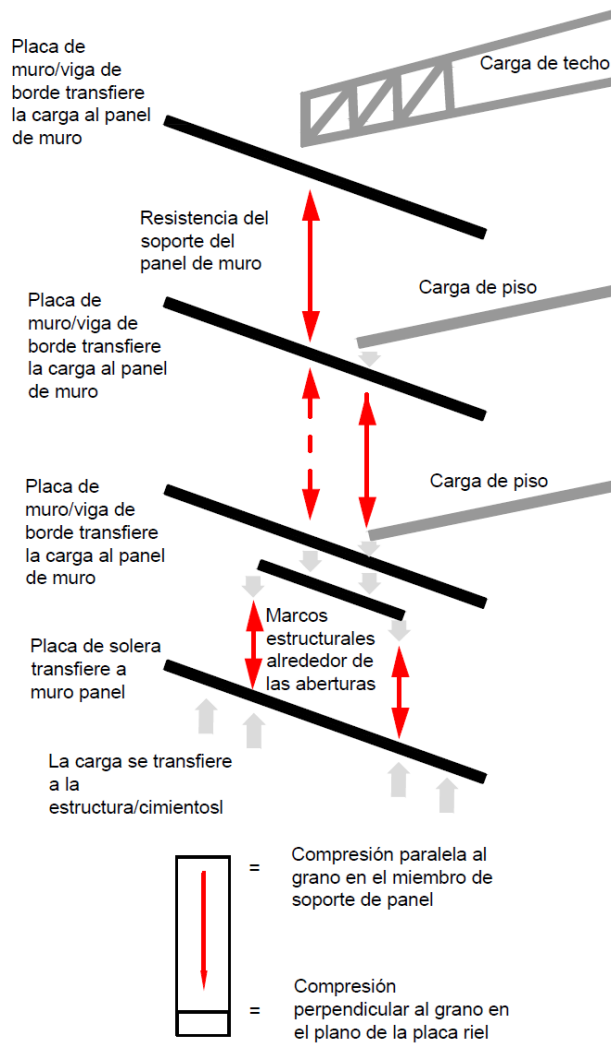
5. EIROS *Prefabricado de Hormigón. Panel arquitectónico* [en línea]. <<http://www.eiros.es/productos.php?id=14&ids=22&idp=85>>. [Consulta: 9 de agosto de 2015].
6. FUENTES, Carlos Eduardo. *Materiales de construcción en Guatemala y su aplicación actual*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2006. 338 p.
7. GALLEGOS, Héctor. RAMIREZ DE ALBA, Horacio. *Las estructuras de mampostería*. Ingenieros asociados. 2002. 21 p.
8. Instituto Nacional de Estadística. *Censos Nacionales XI de Población y VI de Habitación 2002. Características de la población y de los locales de habitación censados*. 271 p.
9. International Code Council. *International Building Code*. [en línea]. <http://publicecodes.cyberregs.com/icod/ibc/2003/icod_ibc_2003_21_sec008.htm>. [Consulta: 24 de agosto de 2015].
10. MARROQUÍN, Hermes y GÁNDARA, José Luis. *La vivienda popular en Guatemala antes y después del terremoto de 1976*. Guatemala: CICON 1982. 516 p.
11. NOVAS, Joel. *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. 2010. 154 p.

12. Prefabricados del principado S.L. *Sistemas de cierre*. [en línea].
<https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=12&cad=rja&uact=8&ved=0CFEQFjALahUKEwj9576skbjHAhWC1YAKHRo1C94&url=http%3A%2F%2Fwww.prefabricadosprincipado.es%2Findex_archivos%2FSISTEMA_DE_CIERRE.pdf&ei=mwfWVb2uC4KrgwSa6qzwDQ&usg=AFQjCNE05J1jJU6B210DfXU2ef9XU3Gz6w&sig2=N5pCVHu7pOQyTQJNhLjCwA>.
[Consulta: 20 de agosto de 2015].
13. SÁNCHEZ, Juan Francisco. *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. Madrid, España. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. 2010. 98 p.
14. Structural Timber Association. *Timber frame structures-platform frame construction*. [en línea].
<https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&cad=rja&uact=8&ved=0CFsQFjANahUKEwj1uig6LrHAhXBXB4KHS-VA98&url=http%3A%2F%2Fwww.structuraltimber.co.uk%2Fassets%2FInformationCentre%2F%2Ftimberframeeb3.pdf&ei=LG_XVeWQBMG5ea-qjvgN&usg=AFQjCNHlul_LwdZRGUpItllvY8BaVRuLjA&sig2=FJAJ-bS2mvk9XcDguNb4Vw>. [Consulta: 21 de agosto de 2015].
15. Tilt-Up Concrete Association. *What is Tilt-Up construction*. [en línea].
<<http://www.tilt-up.org/basics/forming.php>>. [Consulta: 19 de agosto de 2015].
16. Tilt-up. Tilt-Up Construction Articles. *What is Tilt-up Construction? How Are Tilt-up Concrete Buildings Constructed?* [en línea].

<<http://www.tiltup.com/commercial-construction-articles/concrete-panel-building/>>. [Consulta: 19 de agosto de 2015].

APÉNDICE

Apéndice 1. Líneas de carga verticales para el sistema *Platform Framing*



Fuente: elaboración propia,

