



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

DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE

Marco Antonio Pérez Aguilar

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, octubre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARCO ANTONIO PÉREZ AGUILAR

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Yefry Valentín Rosales Juárez
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:

DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha abril de 2010.

Marco Antonio Pérez Aguilar

Guatemala 25 de julio del 2011

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

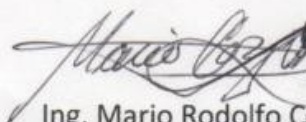
Estimado ing. Montenegro

Atentamente me dirijo a usted para expones lo siguiente:

Le informo que he revisado el trabajo de graduacion titulado: **DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Marco Antonio Pérez Aguilar, quien contó con mi asesoria.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Pérez Aguilar satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su su aprobacion

Atentamente,


Mario Rodolfo Corzo A.
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
Colegiado no. 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
3 de agosto de 2011

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 **DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Marco Antonio Pérez Aguilar, 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 ENSEÑAD A TODOS


Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Marco Antonio Pérez Aguilar, titulado, DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre de 2011.

/bbdeb.

Más de 130^{Años} de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala

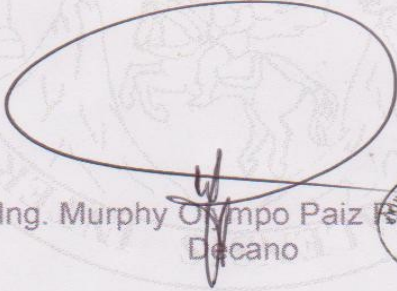


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.408.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE MUROS PREFABRICADOS TIPO LLAVE**, presentado por el estudiante universitario **Marco Antonio Pérez Aguilar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz ~~Rojas~~ 
Decano



Guatemala, octubre de 2011

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Quien ha encontrado a un amigo ha encontrado un tesoro.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	De manera especial a la Facultad de Ingeniería y su claustro de profesores por la formación recibida.
Mi mamá	Gracias por su sacrificio.
Ingeniero Mario Corzo	Por compartir sin reservas su conocimiento y brindarme su apoyo total para la realización del presente trabajo. Es un excelente profesional y una magnífica persona.
Todas las personas	Qué a lo largo de mi vida han contribuido a mi formación tanto personal como profesional.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme todo.
Mi mamá	María Aguilar Arriaga, mi vida está inspirada en ella.
Mi esposa	América Maribel de León de Pérez, perfecta ayuda adecuada, la amo con todo mi corazón, dos mejor que uno.
Mis hijas	Leslie, Lourdes, María Consuelo, que nunca abandonen sus sueños.
Mis hermanos	Aracely (q.e.p.d.), Crisandra, Dolores, César por su amor.
Tío Deodoro y Elvia	Por su cariño y apoyo incondicional siempre.
Toda mi familia	Suegros, cuñados, primos, sobrinos.
El grupo de oración central Inmaculada Concepción Villa Nueva	Donde conocí a Jesús desde mi juventud y me invitó a ser su amigo hasta la eternidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	I
GLOSARIO	V
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS.....	1
1.1. Sistema de barda tipo placa-poste.....	1
1.2. Ventajas	2
1.3. Desventajas	2
1.4. Muros típicos.....	2
2. SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TIPO LLAVE	5
2.1. Diseño preliminar	5
2.2. Descripción del sistema tipo llave	6
2.3. Proceso de construcción.....	7
2.4. Materiales utilizados para la fabricación de bloques.....	8
2.5. Proceso de fabricación de los bloques	8
2.6. Tipos de bloque	9
3. PROCESO DE LEVANTADO DE MUROS DE ENSAYO.....	11
3.1. Muro tipo llave sin refuerzo	11
3.1.1. Colocación de primera hilada	12
3.1.2. Colocación de pines	12
3.1.3. Fundición de cemento y pines	14

3.1.4.	Colocación de refuerzo horizontal.....	15
3.1.5.	Fundición de pines en la quinta hilada.....	16
3.1.6.	Colocación de armadura de solera corona	18
3.1.7.	Colocación de formaleta para solera corona	19
3.1.8.	Muro tipo llave sin refuerzo terminado	20
3.2.	Muro tipo llave reforzado	22
3.2.1.	Descripción del montaje.....	22
3.2.2.	Colocación de placas.....	23
3.2.3.	Colocación de costilla y formaleta.....	25
3.2.4.	Fundición de pines.....	26
3.2.5.	Montaje de losa.....	27
3.2.6.	Colocación de formaleta y fundición de solera	30
4.	MEMORIA DE CÁLCULO	33
4.1.	Diseño de poste del muro tipo llave sin refuerzo	33
4.2.	Diseño de vivienda con muro tipo llave reforzado	34
5.	TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO	41
5.1.	Descripción de los ensayos.....	41
5.2.	Ensayo a corte de muro tipo llave sin refuerzo.....	41
5.3.	Muro tipo llave sin refuerzo ensayado	44
5.4.	Ensayo a compresión de muro tipo llave sin refuerzo	46
5.5.	Ensayo de poste a flexión.....	47
5.6.	Ensayo de carga distribuida y lateral a sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada	49
5.7.	Colocación de madera y deformómetros.....	50
5.8.	Colocación de cargas para ensayo	51
5.9.	Corte de varilla de tensor.....	52
5.10.	Losa fisurada previo al colapso del sistema	54

5.11.	Resultado en el muro 1	55
5.12.	Resultado del muro 2.....	56
5.13.	Deflexión de losa	58
5.14.	Falla alrededor de la unión central de la losa	59
5.15.	Prueba a flexión de placa tipo llave reforzada	60
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO	61
6.1.	Resultados de ensayo a corte en muro tipo llave sin refuerzo.....	61
6.2.	Ensayo a compresión de muro tipo llave sin refuerzo.....	62
6.3.	Ensayo de postes a flexión	62
6.3.1.	Cálculo del acero del poste para muro tipo llave sin refuerzo	63
6.4.	Ensayo de carga distribuida al sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada.....	64
6.5.	Ensayo a flexión de placa tipo llave reforzado	66
6.6.	Datos y gráficos para el sistema muro-losa tipo llave reforzado.....	67
6.7.	Datos y gráficos de compresión y corte del muro tipo llave sin refuerzo	69
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Muros típicos.....	3
2.	Barda típica de placa y poste.....	3
3.	Diseño preliminar de block tipo llave sin refuerzo.....	6
4.	Dimensiones blocks tipo llave con refuerzo y sin refuerzo.....	9
5.	Colocación de primera hilada de placa tipo llave sin refuerzo.....	12
6.	Primera hilada colocada.....	13
7.	Colocación de pines de refuerzo.....	13
8.	Fundición de cimiento.....	14
9.	Fundición de pines intermedios.....	15
10.	Colocación del refuerzo horizontal.....	15
11.	Traslape de pines.....	16
12.	Fundición de quinta hilada.....	17
13.	Fundición de pines de los extremos.....	17
14.	Colocación de armadura de solera corona.....	18
15.	Colocación de la armadura de la solera corona en la hilada número 11.....	19
16.	Colocación de formaleta para solera corona.....	19
17.	Fundición de solera corona.....	20
18.	Muro tipo llave sin refuerzo terminado.....	21
19.	Plano de montaje de sistema muro-losa tipo llave reforzado.....	23
20.	Inicio de montaje de muro tipo llave reforzado.....	24
21.	Costillas formadas con 2 varillas con base fundida.....	24
22.	Colocación de pin en el suelo.....	25
23.	Formaleta del extremo del muro.....	26

24.	Fundición de costilla y la base del pin.....	26
25.	Armado de los dos muros	27
26.	Montaje de losa.....	28
27.	Colocación de primera parte de la losa.....	28
28.	Colocación de placas de la segunda parte	29
29.	Losa instalada.....	30
30.	Colocación de formaleta en los extremos	30
31.	Fundición de solera corona.....	31
32.	Plano de vivienda.....	36
33.	Datos generales del sistema tipo llave reforzado	37
34.	Calculo de Corte Basal	38
35.	Cálculo de la cantidad de varillas a utilizar por muro	39
36.	Equipo hidráulico para realizar ensayo a corte	42
37.	Colocación de deformómetros	42
38.	Toma de lecturas del deformómetro	43
39.	Aplicación de carga al muro.....	44
40.	Muro tipo llave sin refuerzo ensayado	45
41.	Vista posterior del muro tipo llave sin refuerzo ensayado.....	45
42.	Ensayo a compresión del muro tipo llave sin refuerzo.....	46
43.	Falla en el muro tipo llave sin refuerzo	47
44.	Poste 2 sometido a flexión	48
45.	Falla de flexión en poste 2	48
46.	Ensayo de carga distribuida y lateral a sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada	49
47.	Colocación de madera y deformómetros	50
48.	Colocación de deformómetros	51
49.	Colocación de arena para nivelar el área	51
50.	Colocación de adoquines y cilindros.....	52
51.	Corte de varilla de tensor.....	53

52.	Corte al tensor.....	53
53.	Losa fisurada.....	54
54.	Resultado en el muro 1	55
55.	Estado del refuerzo en la primera placa del muro 1	56
56.	Resultado en el muro 2	57
57.	Fisuramiento en la primera placa del muro 2	57
58.	Deflexión de losa.....	58
59.	Deformación en la parte central de la losa	58
60.	Falla de losa sobre el muro 2 a la izquierda.....	59
61.	Unión de ambas losas.....	59
62.	Prueba de flexión de placa tipo llave reforzada.....	60
63.	Carga vrs. deformación (promedio muro 1 y 2).....	68
64.	Carga vrs. Deformación losa (promedio de 2 a las dos partes)	70
65.	Carga vrs. deformación por pandeo, muro a compresión tipo llave sin refuerzo	72
66.	Carga vrs. deriva, muro a corte tipo llave sin refuerzo	74
67.	Carga vrs. deformación poste 1 armado con 1 varilla de 6,20 mm	75
68.	Carga vrs. deformación del poste 2 armado con 2 varillas de 6,20 mm corridas + bastones de varillas 6,20 de 120 cm de longitud.....	76

TABLAS

I.	Valores de acero	63
II.	Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deformación de muro (promedio muro 1 y 2).....	67
III.	Datos para el cálculo del grafico carga vrs. deformación de losa (promedio de muro 2 las dos partes).....	69

IV.	Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deformación por pandeo, muro a compresión tipo llave sin refuerzo.....	71
V.	Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. Deriva, muro a corte tipo llave sin refuerzo.	73
VI.	Datos del grafico carga vrs. deformación de poste 1 armado con 1 varilla de 6,20 mm.....	75
VII.	Datos del grafico carga vrs. deformación del poste 2 armado con 2 varillas de 6,20 mm corridas + bastones de varillas 6,20 de 120 cm de longitud.....	76

GLOSARIO

Acero de alta resistencia	Tipo de acero que requiere más presión que el acero normal para ser doblado. En nuestro medio se fabrica bajo las normas DIN 488 y ASTM A496 y A497.
AGIES	Asociación de Ingenieros Estructurales y Sísmicos.
Anclaje	Sistema de fijación que permite sujetar un elemento a otro para evitar que se mueva.
Barda	Sistema constructivo prefabricado que consta de placas y postes.
Carga de servicio	Todas las cargas permanentes o transitorias que actúan sobre la estructura o parte de esta sin estar afectada por ningún coeficiente de carga.
Carga viva	Carga debida al uso y ocupación del edificio, sin incluir viento, sismo o carga muerta.
Centro de masa	Punto en el que se concentra el peso de un cuerpo, de forma que si el cuerpo se apoya en

ese punto permanecería en equilibrio también llamado centro de gravedad.

Centro de rigidez

Punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste a las fuerzas laterales. También llamado centro de resistencia.

Cimiento

Conjunto de elementos estructurales destinados a transmitir la carga de una estructura al suelo.

Colapso

Cualquier condición externa o interna que incapacite a una estructura o elemento estructural a cumplir la función para la que ha sido diseñada.

Corte basal

Fuerza cortante horizontal que actúa en la base del edificio como una fracción de peso total del mismo.

Deformometro

Aparato que toma lecturas de deformación en diferentes puntos de una estructura.

Epóxico

Tipo de adhesivo llamado estructural o de ingeniería, se incluyen en este grupo los poliuretanos, acrílicos, cianocrilatos. Se puede conseguir que sean flexibles o rígidos de secado lento o rápido. La resistencia a la tracción puede llegar a los 350 kg/cm².

Esfuerzo	Intensidad de fuerza por unidad de área.
f'm	Resistencia que oponen la mampostería ante acciones externas como cargas laterales y gravitacionales, su valor va a depender siempre del tipo de construcción, se recomienda que se tenga $f'm = 30 \text{ kg/cm}^2$ mayor.
Faldón	Pieza de madera que sirve como obra falsa para sostener elementos prefabricados.
FHA	Instituto de fomento de hipotecas aseguradas.
Fundición	Proceso de llenado o colado de concreto en un espacio determinado.
Losa	Cubierta de concreto reforzado que se utiliza como diafragma para distribuir fuerzas laterales a muros de corte u otros elementos resistentes a fuerzas laterales.
Luz libre	Medida interior entre dos elementos de carga.
Muro	Elemento vertical con una relación longitud horizontal espesor de tres, usado para cerrar espacios. Elemento cuyo espesor es mucho menor en relación con sus otras dimensiones usualmente vertical y que resiste cargas que dirección normal o fuera de su plano.

Pandeo	Flexión lateral de un elemento que esta sometido a fuerzas de compresión y que produce el colapso del elemento estructural.
Placa	Plancha prefabricada de concreto simple o reforzado con electromalla, su función es cubrir mayores áreas de construcción. Este material de construcción puede ser utilizado en el interior o exterior de viviendas u otras edificaciones.
Poste	Elemento prefabricado de concreto reforzado que actúa como columna al soportar esfuerzos de flexión y compresión y como elemento confinante vertical de muros, del sistema placa-poste.
Solera	En mampostería, se define como una estructura que cumple la función de una viga ubicando en esta el esfuerzo longitudinal necesario para soportar esfuerzos cortantes y flexionantes. Para edificaciones de un nivel: solera hidrófuga, solera intermedia y solera corona o de techo. Si la altura libre es mayor que 2,80 m se deberá colocar más de una solera intermedia.
Solera corona	En mampostería se define como una estructura que cumple con la función de una viga, ubicando en esta el refuerzo longitudinal necesario para soportar esfuerzos cortantes y

flexionantes. En este caso es el elemento que genera la unión muro-losa.

Tendal

Pieza de madera que sirve como obra falsa para sostener elementos prefabricados.

UBC

Código uniforme de la construcción.

Zona elástica

Es el área comprendida en un diagrama esfuerzo-deformación unitaria, por el trazo de la curva desde cero hasta el límite elástico.

Zona plástica

Es el área comprendida en un diagrama esfuerzo-deformación unitaria, por el trazo de la curva desde el límite elástico hasta el punto de ruptura y por el tramo de abscisa comprendida desde el valor del límite elástico y el valor correspondiente al punto de ruptura.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación gira alrededor de la implementación de un nuevo sistema constructivo que integre las características de rapidez y economía del sistema prefabricado de placa y poste para hacerlo trabajar como un muro de mampostería reforzada, por medio de bloques diseñados con ese fin.

Se busca ofrecer sistemas constructivos que consideren la realidad nacional, tanto en el aspecto sísmico de nuestro país, como en el económico, evaluando para ello las características físicas y mecánicas de los elementos que lo conforman, bajo la aplicación de códigos tanto nacionales como internacionales.

Las evaluaciones técnicas se realizaron comparando los valores obtenidos de los ensayos con los principios teóricos de los códigos de construcción, de tal manera que el sistema pueda ser factible de desarrollar.

OBJETIVOS

General

Fabricación y ensayo de elementos prefabricados integrados como sistema, mediante la junta tipo llave para la elaboración de muros y losas.

Específicos

1. Aplicar los conceptos de mampostería reforzada para el diseño de un sistema constructivo.
2. Desarrollar una metodología para la construcción de muros perimetrales y vivienda mínima.
3. Conocer los procedimientos de ensayo de materiales que se realizan en el área de estructuras del centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería, para posteriores investigaciones.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el déficit habitacional se incrementa año con año en nuestro país. Este es un problema de grandes dimensiones que abarca a muchos sectores sociales, los cuales desde su área de conocimiento deben colaborar para ofrecer soluciones a una población que demanda un techo digno para resolver su problemática.

Desde la perspectiva de la Ingeniería Civil nuestro aporte a la sociedad consiste en ofrecer alternativas que hagan viable la obtención de una vivienda que cumpla con los requerimientos técnicos y además en el entorno económico se busca fundamentalmente una opción que ofrezca ahorros que hagan atractiva la realización de los proyectos.

Los sistemas prefabricados ofrecen una alternativa que ha ido ganando un espacio importante en nuestro medio tanto para la construcción de muros y cubiertas, residenciales y comerciales por su rapidez y ahorros en obra falsa y tiempos de ejecución.

El presente trabajo se desarrolló con el ánimo de explorar nuevos sistemas que cumplan con lo descrito anteriormente aplicando los principios aprendidos en la Facultad de Ingeniería para diseñar un sistema de prefabricado que cumpla con los requisitos de la mampostería reforzada.

1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS PREFABRICADOS

1.1. Sistema de barda tipo placa-poste

Este sistema, es ampliamente utilizado para la construcción de muros que no soportan cargas verticales, que se utilizan para la circulación de terrenos o bien muros divisorios entre vivienda, está constituido por postes de sección rectangular, cuadrada, trapezoidal, etc., armados con acero de alta resistencia o con acero pretensado y con placas de diferentes medidas tanto de largo como de alto y espesor variable.

Son reforzadas con acero de alta resistencia o sin refuerzo, en el terreno se hacen agujeros, se colocan los postes y se funden de acuerdo a las especificaciones de cada fabricante y posteriormente se colocan las placas en los postes mediante unión macho-hembra de diferentes formas, quedando las placas y postes sin ninguna adherencia.

Además se ha utilizado este sistema para la fabricación de vivienda de un nivel con techo de lámina, más no así para vivienda de losa, ya que esto implica la revisión de cimientos, refuerzo de solera intermedia entre otras consideraciones, aunque se ha realizado en algunos proyectos.

1.2. Ventajas

Rápida instalación debido a que son materiales prefabricados contándose únicamente con la mano de obra para abrir agujeros, colocar los postes y fundirlos en la base.

1.3. Desventajas

Al quedar sin adherencia la unión placa-poste las bardas tienden a tener mucha vibración corriendo el riesgo de sufrir daños por efectos del viento o bien por movimientos del terreno circundante, para evitar esto se hace necesario fundir 2 placas: la que está sobre el terreno y la última para lograr rigidizar el sistema.

1.4. Muros típicos

Barda típica de placa y poste: se perforan agujeros en el suelo y se funden los postes, luego se colocan las placas sin mortero. La placa se coloca sobre el terreno natural.

Figura 1. **Muros típicos**



Fuente: ciudad de Guatemala.

Para mejorar la estabilidad del sistema se procede a fundir los poste sobre una solera de humedad y en la parte superior se coloca una solera de remate, esta puede ser fundida in-situ o bien prefabricada como en la figura 2.

Figura 2. **Barda típica de placa y poste**



Fuente: ciudad de Guatemala.

2. SISTEMA CONSTRUCTIVO DE MUROS TIPO LLAVE

2.1. Diseño preliminar

Para innovar este proceso constructivo de muros tipo placa-poste y habiendo evaluado las características anteriormente mencionadas se procedió a plantear un nuevo sistema que permitiera manejar las ventajas de rapidez y economía e integrarlas con la consistencia y solidez de un muro de mampostería para mejorar este tipo de sistema.

Bajo esta premisa se procedió a diseñar un bloque que reuniera las condiciones de diseño adecuado para soportar cargas tanto verticales como horizontales, habiéndose hecho un diseño preliminar que al ser ensayado a compresión se partió en sentido longitudinal por lo que se modificó y se fabricó otro con agujeros que mejoró sustancialmente a compresión y adicionalmente se diseñó otro con refuerzo interno para hacer muros de vivienda y losas de techos.

Este nuevo sistema se denominó: muro prefabricado tipo llave.

Sus características especiales y el desarrollo del diseño y ensayos con este nuevo sistema constructivo se presentan a continuación.

Diseño preliminar: por su relación ancho longitud esta pieza al recibir carga axial produjo una falla longitudinal partiéndose en dos, por lo que se hizo necesaria la modificación del mismo.

Figura 3. **Diseño preliminar de block tipo llave sin refuerzo**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Descripción del sistema tipo llave

Este sistema constructivo se caracteriza por Bloques Tipo Llave de diferentes resistencias para fines específicos, como pueden ser muros perimetrales con o sin cargas verticales, o bien muros de contención, estos bloques son de diferente longitud, ancho, y alto, así como bloques para esquinas y bloques para formar paredes a 90 grados (esquineros y tee)

Otra de las características es que poseen 2 agujeros internos los cuales dan la simetría necesaria para colocarlos a tope o bien traslapados (a “zoga”), además en la parte superior de la medida longitudinal llevan unión macho y hembra o una ranura para la colocación de acero de refuerzo. El bloque tiene un diseño específico que contribuye a mejorar la resistencia a flexión por volteo.

Siendo su característica principal que al unirse el uno con el otro longitudinalmente por medio de una unión macho-hembra forman una cavidad diseñada específicamente para fundir monolíticamente una armadura de acero colocada en su interior, formando con ello a todo lo alto del muro el equivalente al poste. Adicionalmente la unión macho-hembra evita el uso de formaleta, lo que genera un sistema de mampostería reforzada.

2.3. Proceso de construcción

- Trazo y pasar niveles (se hace también en barda tipo placa-poste).
- Perforación de agujeros (se hace también en barda tipo placa-poste).
- Fundición de armadura de postes (armadas de acuerdo a un diseño específico como resistencia específica del bloque, carga, altura u otro factor).
- Colocación de block tipo llave (se hace también en barda tipo placa-poste). Y colocación de refuerzo longitudinal cada 4 hiladas.
- Fundición de uniones para formar una pared monolítica.

Nota: una de las variantes fundamentales de este nuevo sistema es que en la barda tradicional los postes llevan siempre el mismo armado, en este caso tanto el bloque como el acero se diseñan de acuerdo a un requerimiento específico y permite hacer paredes más altas mediante la utilización de bloques tipo *tee*. Además permite ir colocando ductos dentro del agujero de fundición lo que permite instalaciones eléctricas ocultas.

Otra variante en los bloques tipo llave consiste en el reforzado el cual al igual que el anterior tiene en sus extremos formadas las cavidades para la formación del poste con el agregado de que tiene en su interior una armadura

de acero de alta resistencia que permite una mayor longitud para mejorar la resistencia a flexión, siendo el proceso similar al anterior con la ventaja que este podrá ser utilizado para la fabricación específica de vivienda con losa de concreto. Además este tipo de bloque presenta en su diseño una cara lisa. Adjunto se presentan los correspondientes bosquejos de estas piezas.

2.4. Materiales utilizados para la fabricación de bloques

Concreto:

- Cemento utilizado CFB (cemento para fabricar blocks)
- Arena de río lavada
- Piedrín ¼"
- Agua
- Acero de alta resistencia para los reforzados (3 varillas 6,20 mm longitudinal y 6 varillas 6 200 en sentido transversal)

2.5. Proceso de fabricación de los bloques

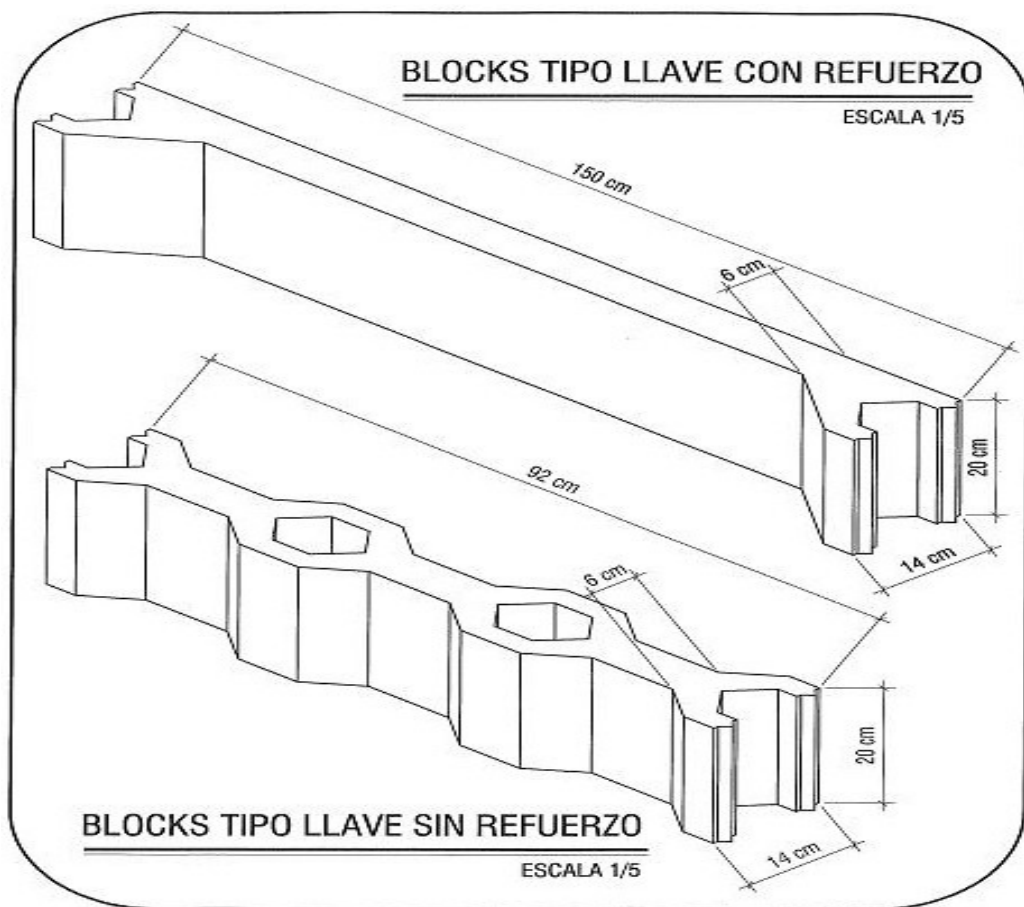
Se elaboraron moldes de lámina para la fabricación manual de los bloques de acuerdo a las medidas representadas en la figura 4 y se vibraron sobre mesa vibratoria. La mezcla es de concreto fluido y la resistencia de diseño de 45 kg/cm^2 .

Sin embargo las medidas están diseñadas para fabricar los bloques con maquinaria hidráulica y mezcla seca.

2.6. Tipos de bloque

En la figura 4, se presenta el diseño de bloques utilizados para el presente trabajo. Este diseño se considera que pueda ser manipulado por una pareja de operarios para facilitar su instalación, el block tipo llave con refuerzo se considera para muros de carga y el tipo llave sin refuerzo para muros perimetrales.

Figura 4. Dimensiones blocks tipo llave con refuerzo y sin refuerzo



Fuente: elaboración propia.

3. PROCESO DE LEVANTADO DE MUROS DE ENSAYO

3.1. Muro tipo llave sin refuerzo

El proceso constructivo del muro que se ensayó se desarrolló en el área de estructuras del Centro de investigaciones (CII) de la facultad de ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala bajo la supervisión del Ingeniero Civil Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Consistió en levantar un muro sobre un cimiento de 30 cm de ancho, 10 cm de espesor con 3 bloques con una longitud de 92 cm cada uno dando una longitud total de 276 cm y 11 hiladas de alto con una altura de 20 cm cada una y rematada con una solera de 0,15 cm. para una altura total de 245 cm.

Siendo los refuerzos correspondientes para el cimiento se utilizaron 3 varillas de acero de alta resistencia 6,20 mm con eslabón 4,50 mm @ 25cm. En el inicio, unión de bloques y final se colocó un pin consistente en una varilla de 6,20 mm, en la quinta hilada se colocó una varilla de 6,20 mm para refuerzo horizontal y la solera final se armó con 2 varillas 6,20 mm con eslabones 4,50 mm @ 25 cm.

El ensayo a realizar es de corte. Siendo este un nuevo sistema constructivo, se hace imprescindible el mostrar el desarrollo del mismo a través de la siguiente secuencia fotográfica:

3.1.1. Colocación de primera hilada

La colocación de primera hilada de placa tipo llave sin refuerzo se hace sobre alzas para fundirlas junto con el cemento, se debe plomear y alinear correctamente, para lograr un adecuado resultado.

Figura 5. Colocación de primera hilada de placa tipo llave sin refuerzo



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.2. Colocación de pines

Primera hilada colocada, se observan las alzas y la armadura del cemento, a la derecha de la imagen en la parte inferior se observan las placas individuales, una de las características especiales del sistema que son los agujeros para colocar pines y fundir las uniones.

Figura 6. **Primera hilada colocada**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de pines de refuerzo; se colocaron uno en cada extremo y uno más en cada unión de placas, amarrados al cemento corrido para lograr un muro monolítico.

Figura 7. **Colocación de pines de refuerzo**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.3. Fundición de cimiento y pines

La fundición de cimiento se realizó sobre una viga de concreto especialmente diseñada para la realización del ensayo a corte.

Figura 8. Fundición de cimiento



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Fundición de los dos pines intermedios en la unión de placas, obsérvese que la unión forma la cavidad para fundir sin necesidad de formaleta, mejorando la unión entre placas.

Figura 9. **Fundición de pines intermedios**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.4. Colocación de refuerzo horizontal

El refuerzo horizontal se colocó en la quinta hilada para mejorar la resistencia del muro a corte, como el que ofrece una solera intermedia, siendo esta otra de las características especiales del sistema.

Figura 10. **Colocación del refuerzo horizontal**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

En la figura 11, se observa; el traslape de pines y el amarre con la varilla horizontal, además la unión tipo llave entre bloques que forma la cavidad para la fundición del pin.

Figura 11. **Traslape de pines**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.5. Fundición de pines en la quinta hilada

Fundición de pines intermedios, nótese que no se utiliza formaleta en las uniones, esta es una de las características especiales del sistema. La fundición se realiza a esta altura para llenar adecuadamente las cavidades y evitar ratoneras.

Figura 12. **Fundición de quinta hilada**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Fundición de pines de los extremos. La formaleta utilizada es porque no hay otros bloques que den continuidad al muro.

Figura 13. **Fundición de pines de los extremos**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.6. Colocación de armadura de solera corona

Colocación de las primeras 5 hiladas, con la fundición de los pines en los extremos y los pines de la unión de placas, después de fundidos los pines se procede a levantar otras 6 hiladas para llegar a altura de solera corona.

Figura 14. **Colocación de armadura de solera corona**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de la armadura de la solera corona en la hilada número 11, esta se engancha a los pines que vienen desde el cimiento con lo que se esta logrando un muro reforzado, construido con elementos prefabricados, haciéndose la combinación que se pretende estudiar en este trabajo que es un sistema de mampostería que tenga la rapidez de un sistema placa-poste.

Figura 15. **Colocación de la armadura de la solera corona en la hilada número 11**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.7. **Colocación de formaleta para solera corona**

Formaleteado de solera corona armada con 4 varillas de 6,20 mm y estribos 4,50 @ 20 centímetros.

Figura 16. **Colocación de formaleta para solera corona**



Fuente: Área de estructuras del Centro de investigaciones de la facultad de ingeniería USAC

Fundición de solera corona tiene como propósito generar una unión entre todas las placas que forman el muro y permitir que trabaje como un sistema que en conjunto soporte la carga del ensayo.

Figura 17. **Fundición de solera corona**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.1.8. Muro tipo llave sin refuerzo terminado

Características:

- Medidas: ancho 273 cm.
- Altura: 245 cm.

Al estar terminado el muro se pueden realizar las observaciones:

- Tiene la estabilidad y consistencia de un muro de mampostería, su construcción se realizó en un tiempo menor al que se requiere para levantar un muro de block tradicional, el refuerzo vertical se pudo colocar y fundir @ 90 cm. sin ningún inconveniente, quedando todo el sistema amarrado, dando la pauta de que en terreno natural es factible la construcción con este sistema.

Figura 18. **Muro tipo llave sin refuerzo terminado**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.2. Muro tipo llave reforzado

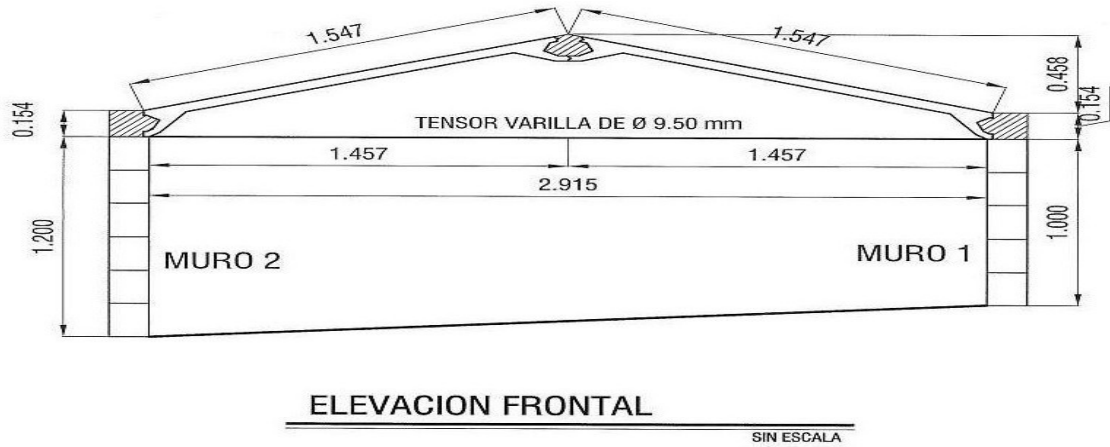
3.2.1. Descripción del montaje

Para el muro tipo llave reforzado se armaron 2 muros de un sólo bloque de longitud de 150 cm, el número 1 de 5 hiladas de alto (100 cm), el muro número 2 de 6 hiladas de alto. Se fundió en los extremos de cada uno de los bloques una armadura de 2 varillas 6,20 mm con eslabón de 4,50 mm a cada 20 cm de espaciamiento, estas se fundieron 35 cm de profundidad.

A la pieza localizada en la última hilada se le fundieron 3 pines de acero 6.20 mm que se utilizaron para amarrar la solera corona, la cual consistió en 4 varillas 6,20 mm con estribo de 4,50 mm a cada 20 cm, la fundición terminada de esta solera corona es de 14 cm de ancho por 15 cm de alto, en esta solera se instalaron las placas tipo llave reforzado, las cuales tienen una varilla de anclaje pegado con epóxico.

Se instalaron 7 unidades sobre cada muro con una inclinación del 26,6 % y se fundieron en el centro con una armadura de 4 varillas 6,20 mm y estribo 4,50 mm a cada 20 cm, la sección fundida es de 8 cm x 8 cm y para dar estabilidad a todo el sistema se unieron las dos paredes en sus extremos superiores con varilla de 9,50 mm. El área de los bloques es de 1 052 cm².

Figura 19. Plano de montaje de sistema muro-losa tipo llave reforzado



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Colocación de placas

Inicio de montaje de muro, la placa se apoya en el suelo se plomean y alinean entre sí con reglas de madera luego se hacen agujeros en los extremos para la colocación de las costillas.

Figura 20. **Inicio de montaje de muro tipo llave reforzado**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Costillas formadas con 2 varillas 6,20 mm y 4,50 mm con la base fundida para mayor comodidad en la instalación.

Figura 21. **Costillas formadas con 2 varillas con base fundida**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.2.3. Colocación de costilla y formaleta

Colocación de pin en el suelo y dentro de la cavidad que forma la placa tipo llave reforzada, la fundición tiene 25 x 25 cm y 35 cm de profundidad.

Figura 22. Colocación de pin en el suelo



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Formaleta del extremo del muro: se observan las 2 varillas de la costilla y la varilla de 9,5 mm del tensor con una escuadra de 25 cm dentro de la fundición. Con esto se esta dando unión a las placas que forman el muro.

Figura 23. **Formaleta del extremo del muro**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.2.4. Fundición de pines

Fundición de la costilla y la base del pin.

Figura 24. **Fundición de costilla y la base del pin**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Armado de los dos muros: se observa la formaleta de los extremos y la conexión de los mismos a través del tensor con varilla 9,50 mm que servirá para dar estabilidad a ambos muros y permitir que el sistema trabaje eficientemente, además la varilla al centro del muro 1 que sirven para alinear y sostener el muro.

Figura 25. **Armado de los dos muros**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.2.5. Montaje de losa

Colocación de tendales al centro del espacio para iniciar la modulación de las placas.

Figura 26. **Montaje de losa**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de la primera parte de la losa: se observa el tendal sobre el que se apoyan las 7 placas al centro, en el extremo inferior se observan las varillas que salen de las placas para anclar con la armadura de la solera corona, aquí se considera indispensable lograr un buen anclaje muro-losa para que el sistema trabaje bien al momento de ser sometido a carga.

Figura 27. **Colocación de primera parte de la losa**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de placas de la segunda parte: se observa en el extremo superior los pines de las placas anclados en la solera de unión al centro de la luz.

Figura 28. **Colocación de placas de la segunda parte**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Losa instalada: se observa que únicamente hay un tendal al centro y no se utiliza formaleta para el faldón interior en la unión muro-losa, además se observan los espacios para fundiciones en los extremos y al centro que es otra de las características especiales del sistema ya que permite menor consumo de concreto en obra lo que nos da un menor tiempo de ejecución y consumo de material en obra.

Figura 29. **Losa instalada**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

3.2.6. **Colocación de formaleta y fundición de solera**

Colocación de formaleta en los extremos, al centro no es necesaria ya que las dos placas forman la cavidad y únicamente es necesario tapar los extremos. Se observa que la colocación de la formaleta se hace de manera práctica.

Figura 30. **Colocación de formaleta en los extremos**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Fundición de solera corona: se observan las placas de la losa a un mismo nivel. Con esta secuencia fotográfica, verificamos que es posible desarrollar un sistema de varios pasos prácticos que permitan servir como instructivo para el desarrollo de proyectos futuros, haciendo ver que el sistema es factible de construir, que es uno de los objetivos del presente trabajo.

Figura 31. **Fundición de solera corona**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

4. MEMORIA DE CÁLCULO

4.1. Diseño de poste del muro tipo llave sin refuerzo

Se armaron dos postes con los extremos de las placas tipo llave sin refuerzo para ensayar el efecto de la flexión sobre el muro y así determinar el acero de refuerzo. Los dos postes de diferente altura se ensayaron a flexión a 28 días, el poste 1 de altura libre de 200 cm y 42 cm de empotramiento, el armado de este consistió en una varilla de 6,20 mm y la falla se presentó a 20 cm de la base y una carga de 56,70 kg y una deformación de 251 mm.

La altura libre del poste 2 es de 2,35 m y 45 cm de empotramiento, el armado consistió en 2 varillas de 6,20 mm y 2 varillas de 6,20 mm desde la base hacia arriba con una longitud de 100 cm. Unidas con un joist de varilla de 4,50 mm, la falla que presento se localizó a 70 cm de la base y una carga de 181,81 kg y una deformación de 210 mm.

Para calcular los refuerzos del poste utilizamos *Agies 2010* y *Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansory Buildings de Pauley y Priestley* que nos indica que $M=0,10m*a*h^2$ asumiendo un factor entre 2.5 – 3.00 como factor de amplificación de aceleración y considerando la zonas sísmicas del país, asumimos un valor del espectro de aceleración en la zona más crítica (vertiente del pacífico) de 0,60 g, entonces el valor será= $2,50 * 0,60=1,56$

Donde:

m= peso del muro en kg

a=aceleración

$h = \text{altura libre del muro}$

Peso del muro: ancho del bloque .92 m x altura 2.35 m x Peso específico del concreto ($2\,400 \text{ kg/m}^3$) x espesor de 0,10 m;

Por tanto $m = 520 \text{ kg}$

$M = 0,10 * m * 1,56 * h^2$ y sustituyendo nos da:

$$M = 0,1 * 520 * 1,56 * (2,35)^2 = 447,98 \text{ kg-m/m}$$

Calculo del acero:

$$F_s = 0,40 * f_y$$

$$F_s = 0,40 * 5\,000 = 2\,000$$

$$j = 0,843$$

$$d = 10$$

$$A_s = M / j * d * F_s$$

$$A_s = 447,98 * 100 / 0,843 * 10 * 2\,000 * 100$$

$$A_s = 0,027 \text{ cm}^2$$

4.2. Diseño de vivienda con muro tipo llave reforzado

Para el diseño de la vivienda consideramos la planta de distribución con las medidas propuestas y haciendo además otras observaciones en cuanto al diseño como lo son:

- Chequeo por estructuración: es el referido al porcentaje de muros con relación a la losa de acuerdo a lo siguiente: la vivienda está bien estructurada para resistir sismo si la longitud de paredes es el 40% del área del techo. En este caso se tiene: área de losa $48,42 \text{ m}^2$ y longitud de paredes de $35,07 \text{ m}$, de aquí obtenemos lo siguiente $0,40 \times 48,42 = 19,37 \text{ m}$, como mínimo, por lo que estamos bien.

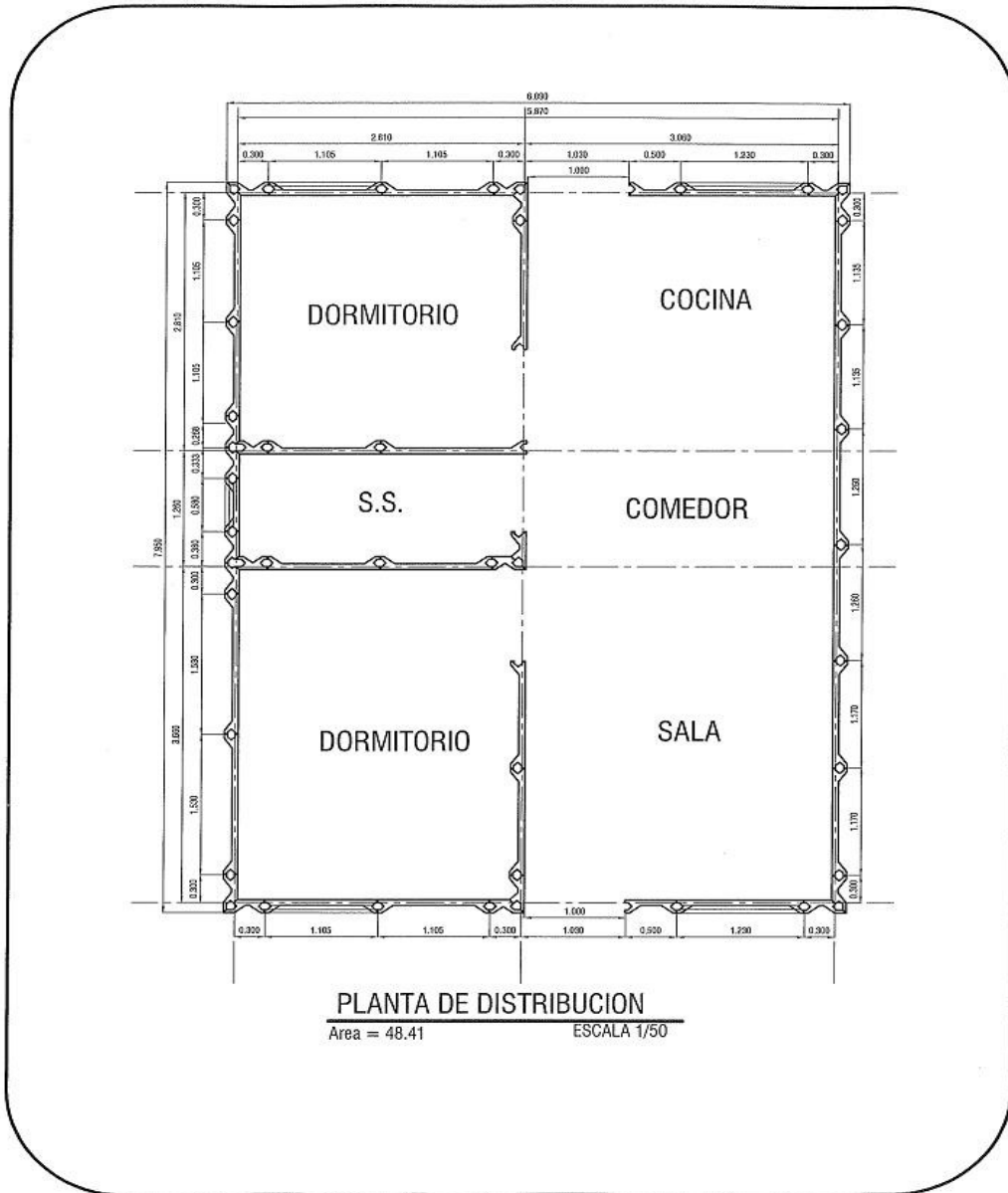
Para las instalaciones eléctricas podemos fundir las cajas rectangulares en el bloque y los ductos los podemos llevar por los espacios para la fundición de las uniones para hacer instalaciones ocultas.

En cuanto a la textura de los muros estos quedan totalmente lisos, por lo que únicamente se deben sellar las uniones entre placas mejorando los costos de la vivienda ya que únicamente se necesita pintura para el acabado final.

Otro aspecto importante de los prefabricados es el tiempo de instalación ya que este eleva la productividad de los procesos al reducir desperdicios, minimizar el uso de formaletas, generando ambientes más ordenados y limpios.

Al ser una vivienda construida con elementos prefabricados podemos ofrecer una mejor calidad debido a los controles que se realizan en la planta de producción en cuanto a: materiales, proporciones y mano de obra; siendo necesario en el campo la supervisión adecuada de la instalación y fundición de los elementos para obtener una construcción adecuada.

Figura 32. Plano de vivienda



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Datos generales del sistema tipo llave reforzado

ID MURO	COORDENADAS C.M.		LONGITUD	SENTIDO DE TRABAJO		RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ		CENTRO DE MASA	
	X	Y		X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
1.00	1.41	0.00	2.81	1.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	3.95	0.00
2.00	4.34	0.00	1.53	1.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	6.64	0.00
3.00	1.41	3.66	2.81	1.00	0.00	0.28	0.00	1.03	0.00	3.95	10.28
4.00	1.41	4.92	2.81	1.00	0.00	0.28	0.00	1.38	0.00	3.95	13.83
5.00	1.41	7.95	2.81	1.00	0.00	0.28	0.00	2.23	0.00	3.95	22.34
6.00	4.34	7.95	1.53	1.00	0.00	0.10	0.00	0.79	0.00	6.64	12.16
a	0.00	3.98	7.95	0.00	1.00	0.00	0.98	0.00	0.00	0.00	31.60
b	2.81	1.33	2.66	0.00	1.00	0.00	0.26	0.00	0.73	7.47	3.54
c	2.81	3.86	0.40	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.12	1.54
d	2.81	6.73	1.81	0.00	1.00	0.00	0.14	0.00	0.39	5.09	12.18
e	5.93	3.84	7.95	0.00	1.00	0.00	0.98	0.00	5.84	47.14	30.49
SUMA						1.32	2.37	5.43	6.96	89.90	137.97

longitudes totales (m)	
X	5.87
Y	7.95

pozos de luz	X	Y	CMX	CMY
P1	0.00	0.00	0.00	0.00
P2	0.00	0.00	0.00	0.00
P3	0.00	0.00	0.00	0.00
P4	0.00	0.00	0.00	0.00

	alto	2.60	m
grosor muro	0.10	m	
peso muro	172.00	kg/m	
espesor losa	0.06	m	
sobre carga	60.00	kg/m ²	
carga viva	250.00	kg/m ²	

Centro de Rigidez	X		Y	
		2.94		4.11

Centro de Masa Combinado	X		Y	
		2.57		3.97

Excentricidad de Configuración	X		Y	
		0.37		0.14

excentricidades máximas	X		Y	
		0.88		1.19

Excentricidad de Diseño	X		Y	
		0.37		0.14

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Cálculo de Corte Basal

I	1,00
R	4,50
tipo suelo	Sb
Na	1,00
Z	0,40
Nv	1,00
Ct	0,05
hn	2,60
T	0,10
Cv	0,64
Ca	0,44

V (1) = 38 742,17 **NO UTILIZAR**
 V (2) = **6 653,44** MÁXIMO **AUTILIZAR**
 V (3) = 1 317,38
 V (4) = **1 935,55** MÍNIMO V2

CÁLCULO DE CORTE EN MUROS

ID MURO	CARGA LATERAL		CARGA POR TORSIÓN		CARGA TOTAL		MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg)	Y (kg)	X (kg)	Y (kg)	X (kg)	Y (kg)	X (kg-m)	Y (kg-m)
1,00	1 411,66	0,00	107,58	0,00	1 519,24	0,00	5 925,03	0,00
2,00	503,40	0,00	38,36	0,00	541,76	0,00	2 112,88	0,00
3,00	1 411,66	0,00	11,75	0,00	1 423,41	0,00	5 551,29	0,00
4,00	1 411,66	0,00	-21,24	0,00	1 411,66	0,00	5 505,47	0,00
5,00	1 411,66	0,00	-100,58	0,00	1 411,66	0,00	5 505,47	0,00
6,00	503,40	0,00	-35,87	0,00	503,40	0,00	1 963,26	0,00
a	0,00	2 765,38	0,00	315,04	0,00	3 080,42	0,00	12 013,63
b	0,00	726,80	0,00	3,63	0,00	730,43	0,00	2 848,68
c	0,00	9,55	0,00	0,05	0,00	9,60	0,00	37,44
d	0,00	386,33	0,00	1,93	0,00	388,26	0,00	1 514,21
e	0,00	2 765,38	0,00	-320,64	0,00	2 765,38	0,00	10 784,98

A 653 44

A 653 44

0 00

0 00

Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Cálculo de la cantidad de varillas a utilizar por muro

Fb Y Fs Sin supervisión

Fb = 21,33
Fs = 2 500,00

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE		VALOR DE K	VALOR DE j	VALOR DE ρ	VALOR DE As HORIZONTAL	As VERTICAL
	X (kg-m)	Y (kg-m)					
1,00	5 925,03	0,00	0,08	0,97	0,00	1,82	4,22
2,00	2 112,88	0,00	0,03	0,99	0,00	1,82	2,30
3,00	5 551,29	0,00	0,08	0,97	0,00	1,82	4,22
4,00	5 505,47	0,00	0,08	0,97	0,00	1,82	4,22
5,00	5 505,47	0,00	0,08	0,97	0,00	1,82	4,22
6,00	1 963,26	0,00	0,03	0,99	0,00	1,82	2,30
a	0,00	12 013,63	0,00	1,00	0,00	1,82	11,93
b	0,00	2 848,68	0,00	1,00	0,00	1,82	3,99
c	0,00	37,44	0,00	1,00	0,00	1,82	0,60
d	0,00	1 514,21	0,00	1,00	0,00	1,82	2,72
e	0,00	10 784,98	0,00	1,00	0,00	1,82	11,93

De estos valores podemos establecer la cantidad de varillas por cada muro de la manera siguiente:
(asumiendo varilla 9,50 mm con un area de 0,709 cm²)

Muro	As horizontal	As. Vertical
1,00	3,00	6,00
2,00	3,00	3,00
3,00	3,00	6,00
4,00	3,00	6,00
5,00	3,00	6,00
6,00	3,00	3,00
a	3,00	18,00
b	3,00	6,00
c	3,00	1,00
d	3,00	4,00
e	3,00	18,00

Fuente: elaboración propia.

5. TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO

5.1. Descripción de los ensayos

Los ensayos realizados con los muros así como los elementos individuales fueron a escala natural y con cargas laterales, axiales, fuera de plano equivalentes a las cargas de diseño de acuerdo al código UBC 2006. Las cargas se aplicaron de forma progresiva con el fin de determinar la curva de esfuerzo-deformación de los muros y así establecer el rango elástico, elasto-plástico y plástico y la consiguiente falla y así determinar que los muros trabajen en su rango elástico de acuerdo a lo que establece el código por el método de esfuerzos de trabajo que es el método de diseño considerado en este trabajo.

Los muros se ensayaron a los 28 días después de ser levantados en el Área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

A continuación se muestran los ensayos realizados.

5.2. Ensayo a corte de muro tipo llave sin refuerzo

Equipo hidráulico colocado para realizar ensayo a corte, consiste en un marco que transmite la carga lateral aplicada por un gato hidráulico con una capacidad de 25 toneladas.

Figura 36. **Equipo hidráulico para realizar ensayo a corte**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de deformómetros en los extremos en la solera corona y a la altura de la varilla intermedia del muro, estos darán los valores de desplazamiento del muro en el sentido de aplicación de la fuerza de izquierda a derecha.

Figura 37. **Colocación de deformómetros**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Toma de lectura de los datos del deformometro ubicado en el extremo inferior izquierdo del muro este indica el volteo que puede sufrir el muro.

Figura 38. **Toma de lecturas del deformometro**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

La aplicación de carga al muro se hizo a intervalos de 100 en 100 kg, así mismo se realizaron descargas para verificar la recuperación del muro luego de la aplicación de la carga

Figura 39. **Aplicación de carga al muro**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.3. Muro tipo llave sin refuerzo ensayado

Muro ensayado: obsérvese la falla diagonal ubicada en la unión de los bloques y la dirección a 45 grados, además en el extremo derecho del muro se observa la deformación que este sufrió por acción de la carga lateral aplicada de izquierda a derecha.

Figura 40. **Muro tipo llave sin refuerzo ensayado**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Vista posterior del muro, se observa la deformación lateral del muro debido a la acción de la carga lateral aplicada de derecha a izquierda. El comportamiento del muro bajo estas condiciones de carga es el esperado para un sistema de mampostería reforzada.

Figura 41. **Vista posterior del muro tipo llave sin refuerzo ensayado**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.4. Ensayo a compresión de muro tipo llave sin refuerzo

El armado del cimiento; varilla intermedia, solera corona y pines de los extremos es similar al muro de 3 piezas para tener un muro equivalente que aporte datos solo que en este caso con carga axial.

Figura 42. Ensayo a compresión del muro tipo llave sin refuerzo



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

La falla se presentó principalmente en los extremos del muro como sucedió en el caso del muro formado por los 3 bloques sometido a corte, se puede observar que el rediseño de la pieza ha sido fundamental para mejorar la resistencia a la carga axial, ya que como se indicó en el diseño preliminar la pieza se partió en forma longitudinal y en este caso se hizo que la pieza trabajara en los extremos que es donde se ubica el pin de refuerzo y la unión de las piezas.

Figura 43. **Falla en el muro tipo llave sin refuerzo**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.5. Ensayo de poste a flexión

Poste 2 sometido a flexión, longitud libre 230 cm. el objetivo de este ensayo es que en la unión de los bloques se formará un poste que estará sometido a carga lateral o de volteo que es la carga crítica en muros perimetrales y se necesita verificar la carga de diseño por este motivo el poste que se observa se armó con los extremos que se cortaron a varios bloques tipo llave sin refuerzo, por lo que en las gráficas se observan los postes formados por varias piezas.

Figura 44. Poste 2 sometido a flexión



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Poste 2 con falla a flexión ubicada a 70 cm del empotramiento, aproximadamente a $L/3$.

Figura 45. Falla de flexión en poste 2



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.6. Ensayo de carga distribuida y lateral a sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada

Tiene como objetivo verificar si el sistema se comportara de manera monolítica, indicando si las uniones entre placas que forman el muro son adecuadas, si la unión muro-losa funciona, si la unión entre placas que forman la losa trabajan y si es así cuanto de carga puede soportar el sistema, considerando que es un techo inclinado a dos aguas con un diseño de carga viva según el código ACI de 200 kg/m².

Figura 46. **Ensayo de carga distribuida y lateral a sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Se observa a un lado del Sistema Muro-losa tipo llave reforzado la carga que servirá para realización del ensayo, la cual consiste en arena, adoquines, cilindros de ensayo.

5.7. Colocación de madera y deformómetros

Nivelación del área con madera, se observa el tensor con varilla de 9,50 mm, el cual está ligeramente convado, ya que el sistema aún no ha sido sometido a carga.

Figura 47. **Colocación de madera y deformómetros**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de deformómetros para toma de lecturas de deformaciones debido a la acción de la carga, se colocaron en la solera corona, al centro en la unión de las dos aguas a 75 cm del extremo de los muros y otro más para verificar la abertura de los muros.

Figura 48. **Colocación de deformómetros**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.8. **Colocación de cargas para ensayo**

Colocación de capa de arena para nivelar el área y tener peso distribuido.

Figura 49. **Colocación de arena para nivelar el área**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Colocación de adoquines y cilindros como de carga viva. Hasta este momento del ensayo el sistema no ha colapsado y se mantiene estable, teniendo capacidad de soportar más peso.

Figura 50. **Colocación de adoquines y cilindros**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.9. Corte de varilla de tensor

Corte al tensor de 9,50 mm: este corte se ha realizado para inducir al sistema a que falle, ya que tanto muros como losa no presentan mayor daño, verificándose que el sistema está trabajando como un conjunto que es lo que se pretende en el presente trabajo.

Figura 51. **Corte de varilla de tensor**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

La figura 52, muestra la varilla de tensor cortada y la separación de 1,20 cm debido a la acción de la carga, a partir de aquí el sistema comenzará a colapsar.

Figura 52. **Corte al tensor**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.10. Losa fisurada previo al colapso del sistema

El fisuramiento de la losa se da aproximadamente a 120 cm del apoyo, se observa que la unión de ambas placas al centro de la losa se mantiene, el sistema ha iniciado su colapso, el cual fue inducido por el movimiento lateral que se aplicó por varias personas, ya que por efecto de la carga que está soportando únicamente se fisuro como lo vemos en la gráfica. Con este ensayo se verifica físicamente el comportamiento real de una estructura hecha a escala natural con los bloques propuestos para este trabajo con lo que establecemos que es factible la construcción de muros y losas para techo final con el sistema tipo llave reforzado.

Figura 53. Losa fisurada



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.11. Resultado en el muro 1

Muro 1 conformado por 5 placas (100 cm) de altura + 15 cm de solera corona. El sistema no fallo pero al inducir la falla se presentó lo siguiente: después de caer el techo, se generó un momento sobre el muro en dirección contraria a las manecillas del reloj, haciendo que la primera placa permaneciera en su lugar, las 3 superiores se desplazaron en sentido de la fuerza de caída del techo de izquierda a derecha y la cuarta placa que forma la unión muro-losa cayó sobre la primera placa, la falla se presentó a $L/5 = 20$ cm.

Figura 54. Resultado en el muro 1



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Se observa que permanece la unión muro-losa. En la parte inferior se observa el estado del refuerzo en la primera placa, de las 2 varillas que forman la armadura, una fallo y la otra únicamente se dobló.

Figura 55. **Estado del refuerzo en la primera placa del muro 1**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.12. Resultado del muro 2

Muro 2 formado por 6 placas (120 cm) + 15 cm de solera. Como se observa este muro no colapso, lo que fallo fue la unión muro-losa ya que la solera se desprendió del muro por efecto del momento generado en sentido contrario a las manecillas del reloj. La solera corona está anclada en los extremos a las 2 mochetas y a 3 varillas que están fundidas en la sexta placa.

Figura 56. **Resultado en el muro 2**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

Se observa en el fondo del muro la deflexión lateral por efecto de la carga. En la parte inferior se observa el inicio del fisuramiento en uno de los extremos de la primera placa.

Figura 57. **Fisuramiento en la primera placa del muro 2**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.13. Deflexión de losa

Losa montada sobre muro 1 formada con 7 placas (140 cm), se observa que la losa se comportó de manera monolítica, ya que en todas las placas se presenta la misma deflexión.

Figura 58. Deflexión de losa



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

La deformación en la parte central de la losa es de 3,60 cm

Figura 59. Deformación en la parte central de la losa



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.14. Falla alrededor de la unión central de la losa

Se observa que toda la losa trabaja en conjunto y no presento deflexión, la falla se ubica a 120 cm del extremo superior que se podría decir que coincide con la altura del muro.

Figura 60. **Falla de losa sobre el muro 2 a la izquierda**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

A la derecha se observa la unión de ambas losas la cual permaneció. En la parte inferior se observa la unión de ambas losas la cual no fallo.

Figura 61. **Unión de ambas losas**



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

5.15. Prueba a flexión de placa tipo llave reforzada

Falla de la placa tipo llave reforzada, en el ensayo del sistema muro-losa, las placas presentaron la misma falla no al centro sino a 120 cm de uno de los extremos.

Figura 62. Prueba de flexión de placa tipo llave reforzada



Fuente: área de estructuras del Centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería USAC.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO

6.1. Resultados de ensayo a corte en muro tipo llave sin refuerzo

En este ensayo lo que se observó fue que el muro trabajó como un sistema integrado de acuerdo a lo esperado y se presentaron las fallas típicas de corte a 45 grados en la unión placas que es donde se encuentra ubicado el refuerzo, las cargas y desplazamientos están dentro de los rangos establecidos previamente en el diseño estructural. Según análisis estructural la carga en un muro similar, el muro b, da carga de diseño 886,67 kg y en el ensayo dio una carga final de 4,073 kg.

De acuerdo a esto el acero propuesto en la sección 4.1 es el adecuado, sin embargo los mínimos requeridos por FHA, están dados por la fórmula:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot t$$

$$A_{s \text{ ver}} = 0,0005 \cdot 276 \cdot 10 = 1,38 \text{ cm}^2 \text{ o bien } 4,56 \text{ varillas de } 6,20 \text{ mm}$$

$$A_{s \text{ hor}} = 0,0010 \cdot 276 \cdot 10 = 2,76 \text{ cm}^2 \text{ o } 9,13 \text{ varillas de } 6,20 \text{ mm}$$

Por lo que se necesita incrementar la cuantía de acero en sentido vertical en 1,56 varillas y en sentido horizontal 6,13 varillas. El armado final de las costillas de la casa se toma de las áreas de acero que se reportaron en el análisis estructural secc. 4.2.

6.2. Ensayo a compresión de muro tipo llave sin refuerzo

Se armó un muro con únicamente 1 bloque de ancho (92 cm) y 11 hiladas de alto (220 cm) y las mismas condiciones de armado del anterior para realizar ensayo a compresión a 28 días. Los resultados obtenidos de este ensayo dieron una carga final de 34 318,18 kg con una deformación por pandeo de 10 mm al centro, sobre un área de 1 288 cm² (92cm*14 cm) dando una f'm del muro de 26,64 kg/cm². El área neta de un bloque individual es de 728 cm² por lo que si hacemos el cálculo con esta área la f'm da 47,14 kg/cm².

6.3. Ensayo de postes a flexión

Se armaron dos postes con los extremos de las placas tipo llave sin refuerzo para ensayar el efecto de la flexión sobre el muro y así determinar el acero de refuerzo.

Los dos postes de diferente altura, se ensayaron a flexión a 28 días, el poste 1 de altura libre de 200 cm y 42 cm de empotramiento, el armado de este consistió en una varilla de 6,20 mm y la falla se presentó a 20 cm de la base y una carga de 56,70 kg y una deformación de 251 mm.

La altura libre del poste 2 es de 2,35 cm y 45 cm de empotramiento, el armado consistió en 2 varillas de 6,20 mm y 2 varillas de 6,20 mm desde la base hacia arriba con una longitud de 100 cm. Unidas con un *joist* de varilla de 4,50 mm, la falla que presento se localizó a 70 cm de la base y una carga de 181,81 kg y una deformación de 210 mm.

6.3.1. Cálculo del acero del poste para muro tipo llave sin refuerzo

Tomando el área de acero de diseño que da $A_s = 0,027 \text{ cm}^2$, obtenida en la sección 4.1 y según normas vigentes del FHA el área mínima para refuerzo vertical es de 0,0005 de la sección bruta de la pared para acero con esfuerzo a la fluencia de $4\,227 \text{ kg/cm}^2$ ($60\,000 \text{ lb/plg}^2$) o mayor, se calcula:

$$A_s(\text{mínimo}) = 0,0005 \cdot b \cdot d$$

$$A_s = 0,0005 \cdot 92 \cdot 10 = 0,420 \text{ cm}^2 \text{ o bien } 1,39 \text{ varillas de } 6,20 \text{ mm o } 2 \text{ varillas de } 5,50 \text{ mm } (0,476 \text{ cm}^2).$$

Si comparamos este dato con el poste 2 vemos que al utilizar 4 varillas 6,20mm tenemos un área de $4 \cdot 0,302 = 1,20 \text{ cm}^2$, por lo que estamos arriba del mínimo.

De estos datos podemos estimar una tabla que nos de los diferentes valores de acero de acuerdo a la altura propuesta quedando así:

Tabla I. Valores de acero

H m	Momento kg-m/m	A_s cm^2	Varillas	Cimentación = $0,10 \cdot H +$ 0,40 m
1,00	220,8	0,013	Colocar A_s . Mínimo	0,50
1,50	331,0	0,020	Colocar A_s . Mínimo	0,55
2,00	441,0	0,026	Colocar A_s . Mínimo	0,60
2,50	552,0	0,033	Colocar A_s . Mínimo	0,65

Fuente: elaboración propia.

Otro chequeo para verificar la altura máxima del muro es el correspondiente a la relación de esbeltez: $H/t < 25$; donde H es la altura y t el espesor del muro=0,10 m, dando para la altura de 2,50 un valor de 25.

6.4. Ensayo de carga distribuida al sistema muro-losa con placa tipo llave reforzada

El ensayo se realizó 28 días después de la de fundición de soleras y consistió primero en nivelar con una capa de arena la losa la cual genero un peso de 1 440 kg, posteriormente se colocaron adoquines con un peso de 480 kg y luego se colocaron cilindros de concreto con un peso de 799 kg, se colocaron varias personas con un peso de 335,5 kg para una carga total de 3 054,50 kg, estableciéndose conforme se aplicó carga las deformaciones en diferentes puntos, así como el fisuramiento de los elementos, encontrándose que las placas de la losa fisuradas fueron del lado del muro 2 (120 cm de altura).

Una observación importante es que el sistema no falló bajo estas condiciones de carga, y para inducir la falla del mismo se necesitó cortar los tensores formados por varillas de 9,50 mm, estas al momento de cortarse se separaron aproximadamente 1,1 cm y además se le aplico movimiento lateral por 4 personas, el fisuramiento de las placas de losa fueron a 120 cm del extremo del muro 2 y fue aquí donde se inició el colapso del sistema de lo contrario el sistema pudo haber soportado mayor carga.

Como se indicó, al muro se le indujo a fallar y esto se presentó por el fisuramiento de las placas de la losa, al darse el colapso del sistema se pueden hacer las siguientes observaciones:

El sistema trabajo integralmente, ya que aún cuando se armó con placas individuales, estas trabajaron en conjunto, las placas fisuradas cayeron unidas, no se desprendieron del muro debido al pin colocado en la última placa, pero permanecieron unidas a la solera corona, las placas del otro extremo permanecieron unidas a la última del muro permaneciendo la unión muro-losa.

En este extremo lo que fallo fue el muro el cual estando conformado por 5 hiladas genero el siguiente efecto: al producirse la falla, la primera hilada permaneció en su lugar, la segunda, tercera y cuarta se desplazaron en el sentido contrario a la aplicación de la fuerza lateral; mientras que la quinta hilada que forma la unión muro-placa cayó sobre la primera hilada y la losa cayó completa sobre el suelo, en esta parte de la losa se verifico que la unión de las 2 losas inclinadas permaneció, además la losa que cayó al suelo genero un pandeo de 3,6 cm.

En la unión muro-losa del extremo que no cayó se puede observar sobre la solera corona una falla de torsión diagonal a una distancia de 40 cm de los extremos del muro. Así mismo al pie del muro que falló se puede observar que una varilla se partió y la otra únicamente se dobló, además en la primera hilada en los extremos se observa que únicamente se principio a demoler el concreto. También aparecieron grietas diagonales en la tercera hilada, además en la sexta hilada de las tres varillas de 6,20 mm que se colocaron, la varilla del centro se partió y genero un fisuramiento hacia abajo.

El peso total aplicado finalmente fue de 3 054,5 kg. El área de la losa es de 4,50 m², por tanto la carga de diseño es $W = 200 \times 1,7 = 340 \times 4,50 = 1 530$ kg.

Al analizar la gráfica de las deformaciones vrs. carga para la losa establecemos que la carga de diseño se encuentra en la zona elástica ya que esta llega hasta 1 600 kg. Adicionalmente la deformación de los muros presenta la característica que en la zona elástica, la deformación del muro de 120 cm, es 2/3 la deformación del muro de 100 cm que corresponde a un valor de 0,5850 m.

Estas deformaciones están dentro de las tolerancias y podemos establecer además las deformaciones para una altura de 240 cm de una vivienda típica dando los valores de 1,16 mm haciéndolo con el muro de 120 cm y 0,96 mm haciéndolo con el muro de 100 cm, adicionalmente cuando se realizó el ensayo de un solo bloque por 235 cm de altura la deformación de 1,58 mm que es la que más se aproxima a 1,16 mm que correspondió a una carga de 18 181,82 kg, carga muy superior a la de diseño de 1 600 kg. Una observación mas es que el sistema no presento asentamiento en ninguna de las 2 paredes.

6.5. Ensayo a flexión de placa tipo llave reforzado

De manera individual se realizó a 28 días un ensayo a flexión de un bloque tipo llave reforzado, el cual fallo bajo una carga de 250 kg con una longitud entre apoyos de 140 cm, el área de esta pieza es de 150 cm x 20 cm = 3 000 cm² dando una resistencia de $250/3\ 000=0,083\text{ kg/cm}^2$, o bien 833 kg/m² al comparar este dato con la carga de falla del sistema que fue de 604,22 kg/m² vemos que efectivamente como ocurrió en el ensayo el sistema pudo haber soportado un poco más de carga.

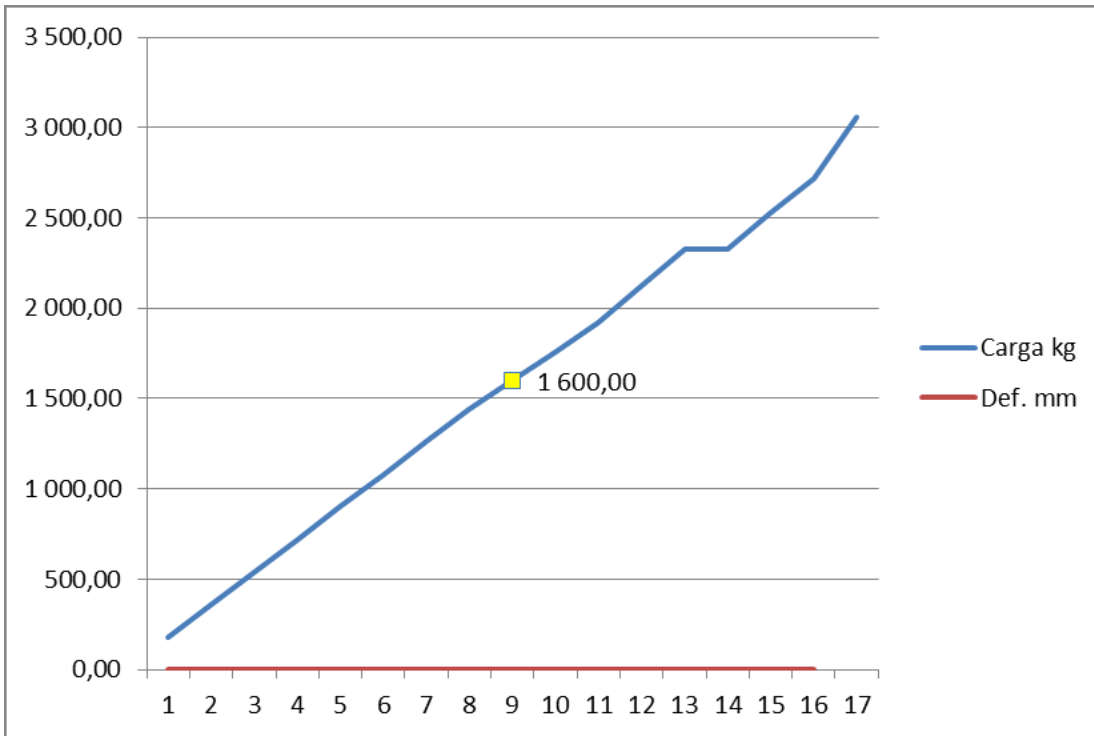
6.6. Datos y gráficos para el sistema muro-losa tipo llave reforzado

Tabla II. Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deformación de muro (promedio muro 1 y 2)

Carga kg	Def. mm
180,00	0,00
360,00	0,17
540,00	0,20
720,00	0,28
900,00	0,34
1 080,00	0,42
1 260,00	0,49
1 440,00	0,55
1 600,00	0,69
1 760,00	0,71
1 920,00	0,77
2 124,50	0,84
2 324,50	1,22
2 324,50	0,85
2 523,00	0,89
2 719,50	1,05
3 054,50	1,39

Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Carga vrs. deformación (promedio muro 1 y 2)**



Fuente: elaboración propia.

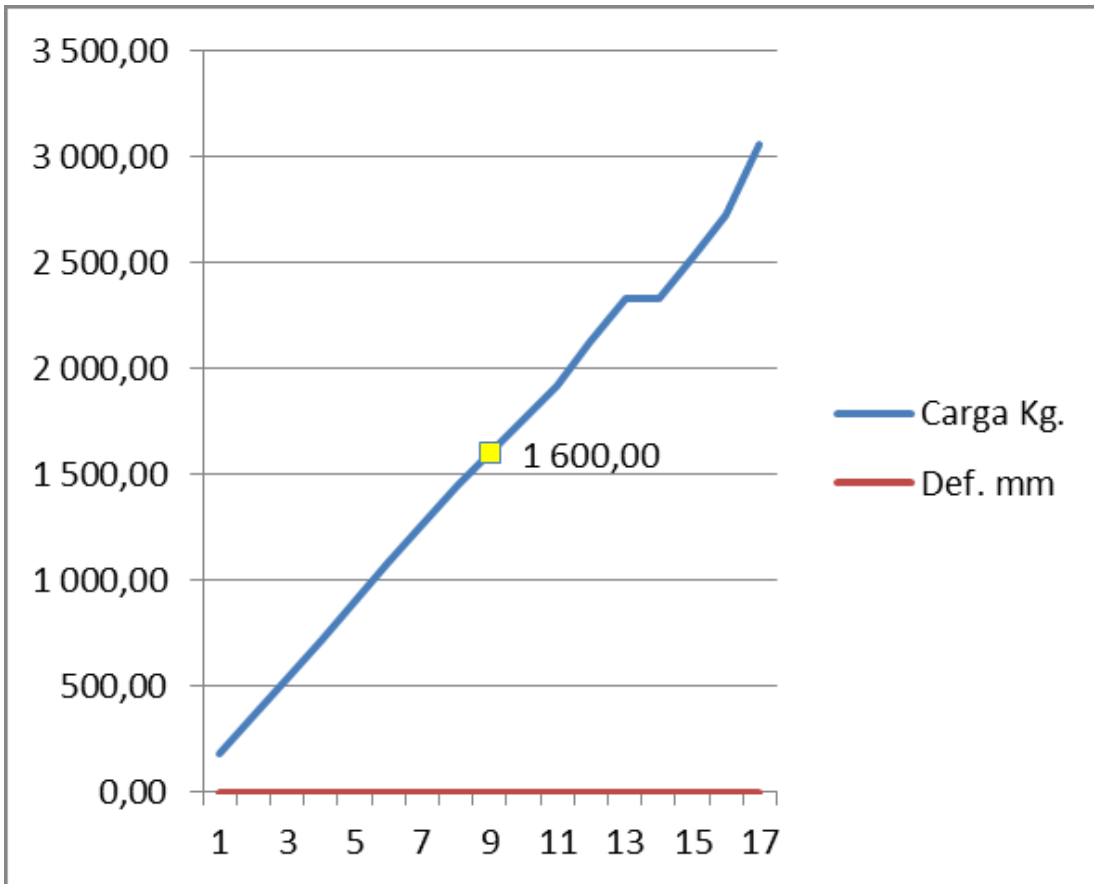
6.7. Datos y gráficos de compresión y corte del muro tipo llave sin refuerzo

Tabla III. Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deformación de losa (promedio de muro 2 las dos partes)

Carga Kg.	Def. mm
180,00	0,00
360,00	0,03
540,00	0,12
720,00	0,25
900,00	0,38
1 080,00	0,56
1 260,00	0,74
1 440,00	0,85
1 600,00	1,07
1 760,00	1,19
1 920,00	1,30
2 124,50	1,47
2 324,50	1,60
2 324,50	1,58
2 523,00	1,76
2 719,50	1,96
3 054,50	2,55

Fuente: elaboración propia.

Figura 64. **Carga vrs. deformación losa (promedio de 2 a las dos partes)**



Fuente: elaboración propia.

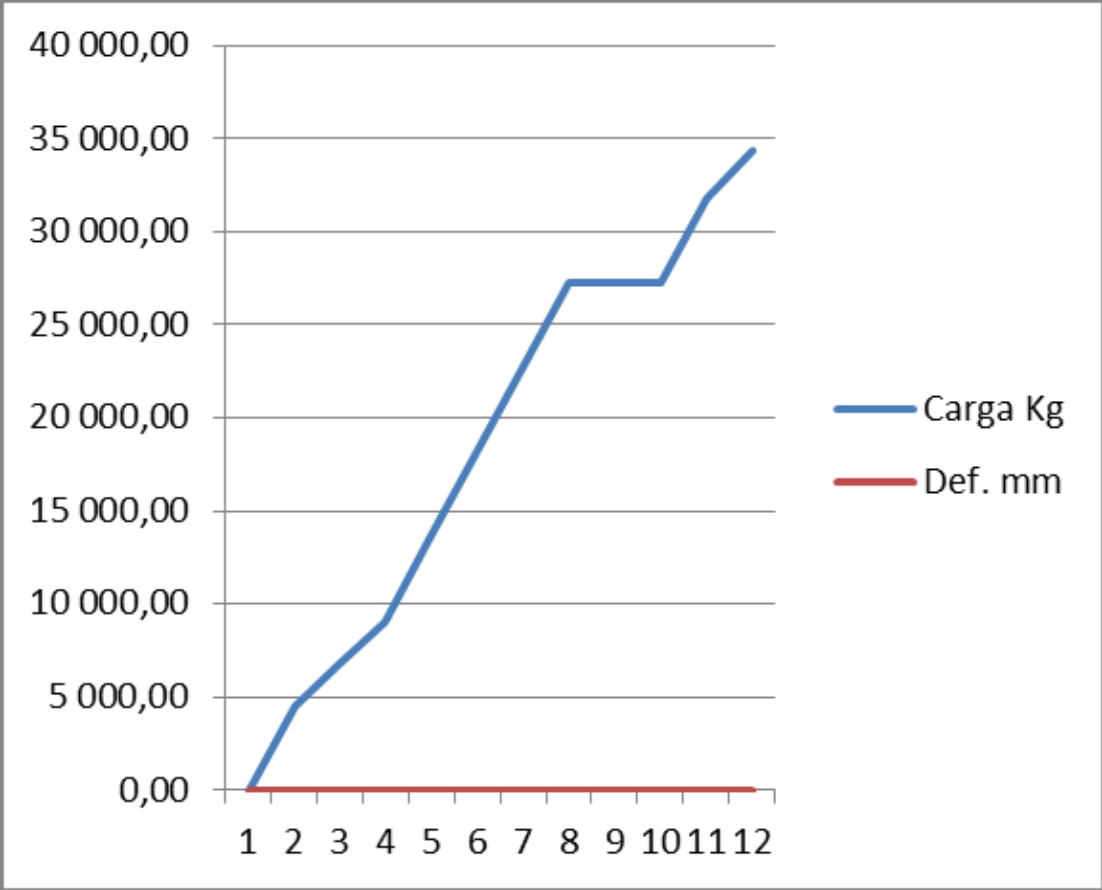
Los datos siguientes corresponden al armado solo con un bloque de ancho y fundido en los extremos.

Tabla IV. Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deformación por pandeo, muro a compresión tipo llave sin refuerzo

Carga Kg	Def. mm
0,00	0,00
4 545,45	0,18
6 818,18	0,10
9 090,91	0,15
13 636,36	0,63
18 181,82	1,58
22 727,27	2,60
27 272,73	3,90
27 272,73	4,20
27 272,73	4,35
31 818,18	7,00
34 318,18	10,00

Fuente: elaboración propia.

Figura 65. **Carga vrs. deformación por pandeo, muro a compresión tipo llave sin refuerzo**



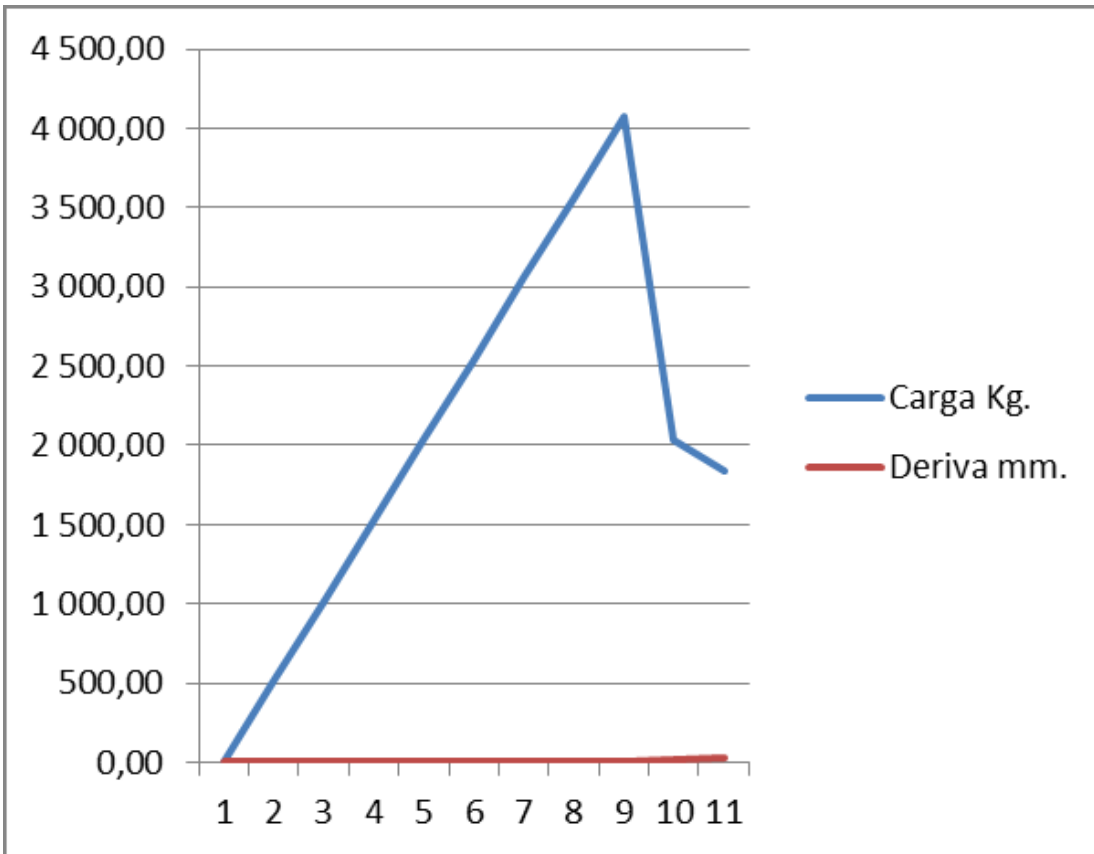
Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Datos para el cálculo del gráfico carga vrs. deriva, muro a corte tipo llave sin refuerzo**

Carga Kg.	Deriva mm.
0,00	0,00
509,00	0,21
1 018,00	0,32
1 527,00	0,48
2 036,00	0,73
2 545,00	0,95
3 055,00	1,11
3 564,00	1,27
4 073,00	8,70
2 036,00	21,60
1 833,00	30,42

Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Carga vrs. deriva, muro a corte tipo llave sin refuerzo



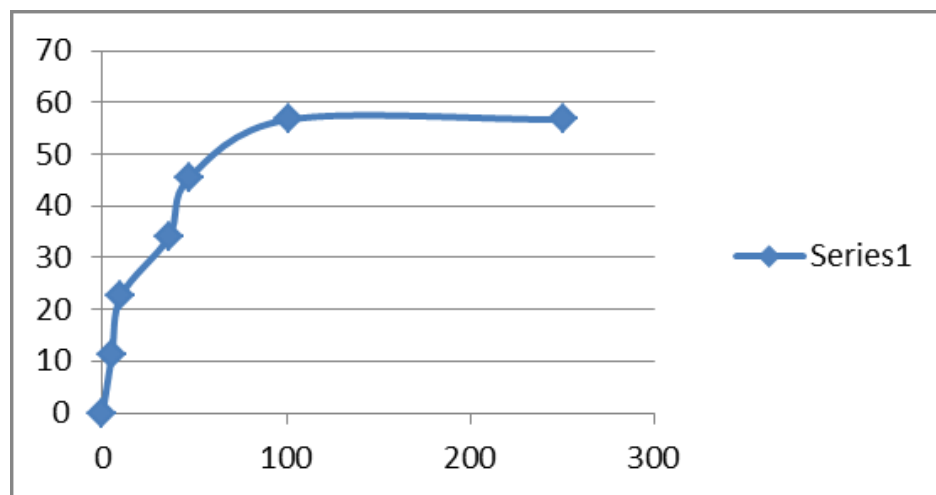
Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Datos del grafico carga vrs. deformación de poste 1 armado con 1 varilla de 6,20 mm**

Carga (Kg)	Deformacion (mm)
0	0
11.34	5
22.68	10
34.02	36
45.36	47
56.7	101
56.7	251
34.02	191
22.68	177
11.34	156

Fuente: elaboración propia.

Figura 67. **Carga vrs. deformación poste 1 armado con 1 varilla de 6,20 mm**



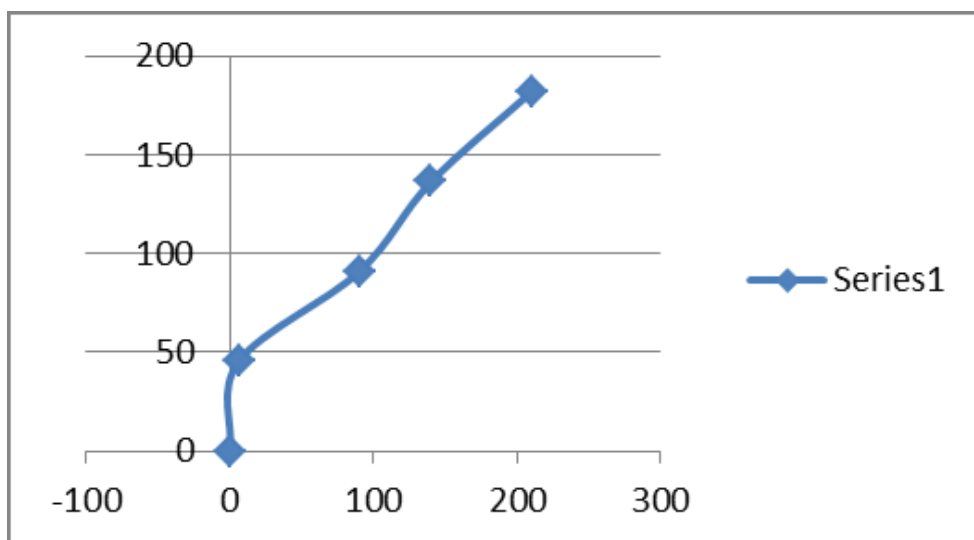
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Datos del grafico carga vrs. deformación del poste 2 armado con 2 varillas de 6,20 mm corridas + bastones de varillas 6,20 de 120 cm de longitud**

Carga (Kg)	Deformacion (mm)
0	0
45.45	6
90.9	90
136.36	140
181.81	210

Fuente: elaboración propia.

Figura 68. **Carga vrs. deformación del poste 2 armado con 2 varillas de 6,20 mm corridas + bastones de varillas 6,20 de 120 cm de longitud**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Una de las premisas de este trabajo es establecer que el sistema propuesto se puede utilizar para la fabricación de vivienda con losa, por lo que derivado de los ensayos realizados se demuestra que el sistema de muros tipo llave es apto para construir viviendas mínimas con losa.
2. El sistema no presenta fallas por asentamiento en ninguna de las dos paredes habiendo soportado un peso total de muro y losa de 1 341,60 kg y carga aplicada de 3 054,5 kg dando un valor de 4 396,10 kg. Esta carga fue aplicada sobre una longitud total de muros de 3,00 m, dando un valor de 1 465 kg/ml, este dato es superior al requerido por el UBC en la sección 1 161,4 Anclaje de Muros de Hormigón y Mampostería que corresponde a 417,50 kg/ml. Por lo tanto concluimos que el sistema en su conjunto: cimentación-muro-losa es adecuado.
3. Se concluye que los objetivos propuestos se cumplieron ya que logramos diseñar y fabricar los bloques propuestos y de igual manera el proceso de levantado de muros y losas ha sido factible de realizar.

RECOMENDACIONES

1. Revisar el sistema, para techos con luces entre muros mayores a 3,00 m.
2. Contar con una adecuada capacitación del personal de obra, de igual manera la supervisión para garantizar la correcta instalación.
3. Realizar estudios de otros materiales para la fabricación de bloques tipo llave sin refuerzo.
4. Continuar con el estudio de diseños alternativos de sistemas constructivos prefabricados ya que la demanda de estos se ha mantenido en la preferencia del público durante un buen tiempo por las características de economía y rapidez de instalación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Código Internacional de la Edificación (UBC). Estados Unidos de América, *Internacional Code Council, 2006. 302 p.*
2. Amrhein James. *Reinforced Masonry Engineering Handbook*. 2a. ed. Estados Unidos de América. Instituto de Mampostería de América 1973. 120 p.
3. *Building Code Requeriments for Masonry Estructures (ACI 318S). Edition 2005. Reported by the masonry standards joint committee (MSJC).* 490 p.
4. Normas Estructurales de Diseño Recomendaciones para la República De Guatemala. AGIES NR-9:2000. 112 p.
5. Normas de Planificación y construcción. Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas, Republica de Guatemala, Guatemala 2011. 124 p.