



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

**FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**“Diseño de un sistema de carga para ensayos de muros
confinados a escala reducida”**

TESIS

PRESENTADA POR:

I.C. VÍCTOR MANUEL MOLINA VÁZQUEZ

**EN OPCIÓN AL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA**

OPCIÓN ESTRUCTURAS

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2020

Aunque este trabajo hubiere servido para el Examen de Grado y hubiera sido aprobado por el sínodo, sólo el autor es responsable de las doctrinas emitidas en él.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Ingeniería, opción Estructuras. Adicionalmente, agradezco al CONACYT por el apoyo otorgado para el desarrollo de mi tesis a través del proyecto de Ciencia Básica “Muros confinados de concreto celular de autoclave sujetos a cargas laterales” con clave 288718. Finalmente, agradezco a la Universidad Autónoma de Yucatán por la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

RESUMEN

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero prefabricado. Se produce en clases con resistencia a compresión entre 20 kg/cm² y 60 kg/cm². Las estructuras de mampostería son ampliamente utilizadas en México. Estas estructuras están formadas principalmente por muros de mampostería y losas. Los primeros se construyen con diferentes tipos de piezas, como bloques de concreto, tabiques de arcilla y bloques de CCA. En México se cuenta con normas técnicas para el diseño de estructuras de mampostería. Sin embargo, los requisitos de estas normas se establecieron para muros construidos con piezas de concreto o arcilla.

Para estudiar el comportamiento de estructuras ante diversas cargas sería deseable ensayar estructuras a escala natural. Lo anterior es difícil debido a limitaciones económicas y de espacio en los laboratorios. Una alternativa ha sido el ensaye de estructuras a escala reducida. Previo a dichos ensayos, se recomienda estudiar sus componentes individuales, como son los muros. Para esto, se requiere un procedimiento de escalamiento, un sistema de carga a escala reducida y establecer las relaciones entre el comportamiento de los muros a escala reducida y natural.

El objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un sistema de carga para el ensaye de muros confinados de CCA a escala reducida sujetos a cargas laterales. Se consideran muros confinados con comportamiento dominado por flexión y cortante. El sistema de carga servirá para el ensaye de muros confinados de CCA a escala 1:2, 1:3 y 1:4. El sistema de carga está formado por una losa de reacción móvil, un sistema de carga lateral y un sistema de carga axial. Los elementos de concreto se diseñaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Los elementos estructurales de acero se dimensionaron utilizando el código del Instituto Americano de Construcción con Acero. Se presentan planos con detalles del sistema de carga. El marco es capaz de soportar una carga lateral máxima de 3711.59 kg. El sistema de carga axial es capaz de soportar una carga máxima de 3075.80 kg.

ABSTRACT

Autoclaved Aerated Concrete (AAC) is a lightweight prefabricated material. AAC is produced in classes with compressive strengths between 20 kg/cm² and 60 kg/cm². Masonry structures are widely used in Mexico. These structures are mainly made of masonry walls and slabs. Walls are constructed using different type of units, as concrete blocks, clay bricks and AAC blocks. In Mexico, there are technical standards for the design of masonry structures. Nevertheless, the requirements of these standards were developed for walls constructed with concrete or clay units.

In order to study the behavior of structures subjected to different loads, it is desirable to test full-scale structures. This is difficult because of economic and space limitations in the laboratories. An option has been the testing of reduced-scale structures. Previous to those testing, it is recommended to study the behavior of the structure individual components, for example, the walls. For this purpose, it is required: a scaling procedure, a reduced-scale load system and to establish the relationship between the behavior of the reduced-scale and natural-scale walls.

The objective of this work was to design and build a load test set up system for reduce-scale confined AAC walls subjected to lateral loads. Confined walls with flexure and shear behavior were considered . The load test set up will be used for testing AAC confined walls to scales 1:2, 1:3 and 1:4. The load test set up is divided into a mobile reaction slab, a lateral load system and an axial load system. The concrete elements were designed using the Mexican Technical Norms for Concrete Structures. The structural steel elements were designed using the American Institute of Steel Construction Code. Drawings with details of the load test set up system are presented. The lateral load bearing capacity of the frame is 3711.59 kg. The load bearing capacity of the axial load system is 3075.80 kg

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1 Generalidades	10
1.2 Objetivo de la tesis	13
1.3 Alcance de la tesis	13
1.4 Contenido	13
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	15
2.1 Resistencia de muros	15
2.2 Estudios de muros confinados de CCA a escala natural.....	19
2.3 Conclusiones de la revisión de la literatura	21
CAPÍTULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CARGA.....	22
3.1 Características de los muros y del sistema de carga	22
3.2 Estructuración de la losa de reacción.....	24
3.3 Estructuración del sistema de carga lateral.....	25
3.4 Estructuración del sistema de carga axial	27
3.5 Anclaje de los muros espécimen a la losa de reacción móvil.....	28
3.6 Anclaje de la losa de reacción móvil a la losa de reacción existente	29
3.7 Análisis estructural	30
3.8 Dimensionamiento.....	36
3.9 Construcción	37
CAPÍTULO 4. DETALLES DEL SISTEMA DE CARGA.....	41
4.1 Losa de reacción móvil.....	41
4.2 Sistema de carga lateral.....	43
4.3 Sistema de carga axial	47
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	58
REFERENCIAS.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Muro confinado sujeto a carga axial y lateral.	15
Figura 2.2 Falla por aplastamiento de un muro confinado.	16
Figura 2.3 Grieta diagonal en un muro confinado.	17
Figura 2.4 Grieta de flexo-cortante en un muro confinado.	18
Figura 2.5 Grieta por deslizamiento relativo de un muro confinado.	19
Figura 3.1 Dimensiones de la losa de reacción móvil (vista en planta y corte A-A').	25
Figura 3.2 Sistema de carga lateral.....	26
Figura 3.3 Vista frontal del sistema de carga lateral.....	27
Figura 3.4 Sistema de carga axial.	28
Figura 3.5 Anclaje de muros espécimen a losa de reacción móvil.	29
Figura 3.6 Anclaje de losa de reacción móvil a losa de reacción existente.	30
Figura 3.7 Modelo matemático empujando.	32
Figura 3.8 Modelo matemático jalando.	33
Figura 3.9 Vista en planta y alzado del modelo matemático.	34
Figura 3.10 Tarima para losa de reacción móvil.....	37
Figura 3.11 Habilitado del acero de refuerzo.	38
Figura 3.12 Colocación de tubos de PVC.	38
Figura 3.13 Colocación de ganchos de izaje.....	39
Figura 3.14 Colocación del concreto.	39
Figura 3.15 Deshabilitado de cimbra.....	40
Figura 4.1 Detalles de la losa de reacción móvil (vista en planta).....	41
Figura 4.2 Detalles de la losa de reacción móvil (corte transversal A-A' y B-B'). ...	42

Figura 4.3 Detalles de la losa de reacción móvil (corte C-C' y D-D').....	43
Figura 4.4 Detalles del sistema de carga lateral (vista frontal), se omiten detalles de muro por claridad.	44
Figura 4.5 Detalle del sistema de carga lateral (vista lateral y placa de conexión).	45
Figura 4.6 Detalle de viga de carga lateral (vista longitudinal).	46
Figura 4.7 Detalle de viga de Carga lateral (vista transversal).	46
Figura 4.8 Detalle de viga de carga lateral (placas de anclaje y de conexión)	47
Figura 4.9 Detalles del sistema de carga axial (vista frontal), se omiten detalles de muro por claridad.	48
Figura 4.10 Detalle del sistema de carga axial (vista lateral).	49
Figura 4.11 Detalle de viga balancín (vista longitudinal).	50
Figura 4.12 Detalle de viga balancín (vista transversal).	51
Figura 4.13 Detalle de viga de repartición axial.....	52
Figura 4.14 Detalle de placa de conexión CA-1	52
Figura 4.15 Detalle de placa de conexión CA-2	53
Figura 4.16 Detalle de placa de conexión CA-3.	53
Figura 4.17 Detalle de placa de conexión CA-4.	54
Figura 4.18 Detalles de placa de conexión CA-5	55
Figura 4.19 Detalle de placa de conexión CA-6.	56
Figura 4.20 Dellate de placa de conexión CA-7.	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Cargas laterales y axiales de muros.....	31
Tabla 3.2 Reacciones (se empuja el muro espécimen).....	35
Tabla 3.3 Reacciones (se jala el muro espécimen).....	35
Tabla 3.4 Elementos mecánicos (se empuja el muro espécimen).	36
Tabla 3.5 Elementos mecánicos (se jala el muro espécimen).....	36

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

El concreto celular de autoclave (CCA) es un material ligero compuesto por cemento Portland, cal, arena sílica, yeso, agua y aluminio en polvo. El CCA se fabrica mezclando los componentes anteriores en un molde metálico hasta formar una mezcla fluida. El aluminio en polvo funciona como un agente expansivo, por lo tanto, la mezcla incrementa su volumen entre dos y tres veces en 4 horas aproximadamente. Después de la expansión, la mezcla es capaz de soportar su peso propio y mantener su forma. Posteriormente, se retira el molde y se corta la mezcla para formar las piezas deseadas. Las piezas se introducen en un autoclave entre 8 y 12 horas. La presión y temperatura dentro del autoclave son de aproximadamente 12 kg/cm² y 180°C, respectivamente. Finalmente, las piezas se retiran del autoclave, se empacan y están listas para su uso.

El CCA se produce en clases con resistencias a compresión entre 20 kg/cm² y 60 kg/cm² y densidades entre 400 kg/m³ y 700 kg/m³ (ASTM C 1693). Entre los principales tipos de piezas se encuentran los bloques y los paneles. Los bloques pueden ser sólidos o con perforaciones. Los paneles pueden ser horizontales o verticales, en ambos casos con acero de refuerzo interior.

El CCA se fabricó comercialmente por primera vez en Suecia en 1929. Su uso se ha extendido a más de 40 países en todo el mundo, entre los que se encuentran Alemania, Francia, Inglaterra, Holanda, Portugal, China, Estados Unidos de América y México. Su uso en Estados Unidos de América comenzó en 1990 y en México en 1994. En nuestro país, el CCA se utiliza en Nuevo León, Ciudad de México, Puebla, Guanajuato, San Luis Potosí, Tamaulipas, Estado de México y Yucatán, entre otros.

Las estructuras de mampostería son utilizadas en México para la construcción de viviendas, oficinas y hoteles, entre otros. Estas estructuras están formadas principalmente por muros de mampostería y losas. Los muros de mampostería confinada son los más utilizados debido a su bajo costo y facilidad constructiva.

Estos muros se construyen con diferentes tipos de piezas, entre los que se encuentran los bloques de concreto, los tabiques de arcilla y en los últimos años, los bloques de CCA. A su vez, las losas pueden ser macizas o construidas con elementos prefabricados. Para el caso de estructuras de CCA se utilizan losas prefabricadas construidas con paneles machihembrados de CCA y elementos de concreto reforzado transversales y perimetrales.

En México se cuenta con Normas Técnicas para el Diseño de Estructuras de Mampostería (NTCM) (GCM, 2017). En estas normas se establecen los requisitos para el diseño de muros reforzados interiormente y confinados, entre otros. Los requisitos de estas normas se establecieron para muros construidos con piezas de concreto o arcilla. Por otro lado, en los Estados Unidos de América se cuenta con un reglamento para el diseño de estructuras de mampostería de CCA (ACI 530-13). Sin embargo, en este reglamento sólo se consideran muros de CCA no reforzados y reforzados interiormente.

Para estudiar el comportamiento de estructuras ante diversas cargas sería deseable ensayar especímenes a escala natural. Lo anterior es difícil debido a limitaciones económicas y de espacio en los laboratorios. Una alternativa es el ensaye de estructuras a escala reducida. Para evaluar el comportamiento de estas estructuras, sería recomendable ensayar primero sus componentes individuales, como son los muros. Para esto, se requiere un procedimiento de escalamiento y establecer las relaciones entre el comportamiento de los muros a escala reducida y natural. Por ejemplo, se requiere la relación entre la resistencia y la rigidez de muros a escala reducida y natural.

Se encontró que existen estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras de mampostería a escala reducida (Tomažević 1987; Tomažević y Modena 1988; Abrams y Paulson 1991; Tomažević y Weiss 1991; San Bartolomé et al. 1992; Costley y Abrams 1995; Kwan et al. 1995; Benedetti et al. 1998; Arias et al. 2004; Barragán 2005; Vázquez 2005; San Bartolomé et al. 2009; Bothara et al. 2010; Alcocer et al. 2011; Tomažević et al. 2011; Lourenço et al. 2012). En estos estudios se consideraron muros confinados, muros reforzados interiormente y

muros diafragma. Se observó que, para el caso de CCA, solo existe un estudio donde se ensayaron estructuras de tres y cuatro niveles construidas con muros reforzados (Tomažević et al. 2011).

A su vez, existen estudios sobre el comportamiento en el plano de muros de mampostería a escala reducida (Tomažević et al. 1996; Tomažević y Klemenc 1997; Restrepo-Vélez et al. 2013; Bose et al. 2014; Zhenggang et al. 2016). En estos estudios se consideraron muros reforzados interiormente, muros no reforzados y muros diafragma. Se observa que, para el caso de CCA, existen dos estudios donde se ensayaron muros diafragma (Bose et al. 2014; Zhenggang et al. 2016).

Por otro lado, se encontraron dos estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras de CCA a escala natural (Tanner et al. 2005; Gokmen et al. 2019). En ambos casos se consideraron estructuras de dos niveles con muros reforzados interiormente. Se encontraron también estudios sobre el comportamiento en el plano de muros de mampostería de CCA a escala natural (Pinto 2018; Varela et al. 2018; Fernández 2019; Naal 2019; Ricalde 2019). En estos trabajos se consideraron únicamente muros confinados.

Se encontró que existen diferentes procedimientos de escalamiento. Para el caso de muros confinados de CCA, no se encontró un procedimiento de escalamiento, por lo que se requiere desarrollarlo. Se observó también que no existen estudios sobre el comportamiento en el plano de estructuras a escala reducida construidas con muros confinados de CCA. Tampoco se encontraron estudios sobre el comportamiento en el plano de muros confinados de CCA a escala reducida. Para el ensaye de muros a escala reducida se requiere contar con un sistema de carga para este tipo de muros. También se requiere relacionar el comportamiento de las estructuras o de los muros a escala reducida con sus correspondientes a escala natural.

1.2 Objetivo de la tesis

Diseñar y construir un sistema de carga para el ensaye de muros confinados de CCA a escala reducida sujetos a cargas laterales.

1.3 Alcance de la tesis

Esta tesis forma parte del proyecto de investigación “Muros confinados de concreto celular de autoclave sujetos a cargas laterales”, cuyo objetivo es evaluar el comportamiento de estructuras de mampostería de CCA sujetas a cargas laterales. En la primera parte del proyecto se considera el ensaye de muros a escala reducida con comportamiento dominado por flexión y cortante. Para lo anterior en la tesis de Xacur (2020) se desarrolló un procedimiento para escalar muros confinados de CCA. A su vez, en esta tesis se diseñó y construyó un sistema de carga para el ensaye de dichos muros. Se consideraron muros confinados con comportamiento dominado por cortante.

1.4 Contenido

Este trabajo está conformado por cinco capítulos, los cuales están organizados de la siguiente manera:

Capítulo 1: Introducción. Se presentan las generalidades, el objetivo y el alcance de la tesis.

Capítulo 2: Revisión de la literatura. Se presenta primeramente la revisión de literatura sobre resistencia de muros confinados. Posteriormente, se presenta la revisión de artículos sobre ensayos experimentales de muros confinados de CCA. La revisión de la literatura se realizó en conjunto con Xacur (2020).

Capítulo 3: Diseño y construcción del sistema de carga. Se presentan las actividades que se llevaron a cabo para el desarrollo de esta tesis. Dichas actividades son: (1) características de los muros y del sistema de carga, (2) estructuración de la losa de reacción, (3) estructuración del sistema de carga lateral, (4) estructuración del sistema de carga axial, (5) anclaje de los muros espécimen a

la losa de reacción móvil, (6) anclaje de losa de reacción móvil a losa existente, (7) análisis estructural, (8) dimensionamiento y (9) construcción.

Capítulo 4: Detalles del sistema de carga. Se presentan planos y detalles de la losa de reacción móvil, del sistema de carga lateral y del sistema de carga axial.

Capítulo 5: Se presentan las conclusiones de este trabajo.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Se realizó una revisión de la literatura en conjunto entre este autor y Xacur (2020). Para efectos de esta tesis se presentan los estudios correspondientes a muros de mampostería confinada de CCA.

2.1 Resistencia de muros

La combinación de carga axial (P) y carga lateral (V) en un muro de mampostería confinada de CCA, empotrado en su base y libre en su parte superior (Figura 2.1) puede inducir diversos mecanismos de falla asociados con la resistencia a flexión, cortante, flexo-cortante y deslizamiento. Para un muro con una altura (H), longitud (L) y castillos de concreto reforzado con un ancho y una altura igual al espesor del muro (t), las resistencias anteriores se pueden determinar como sigue:

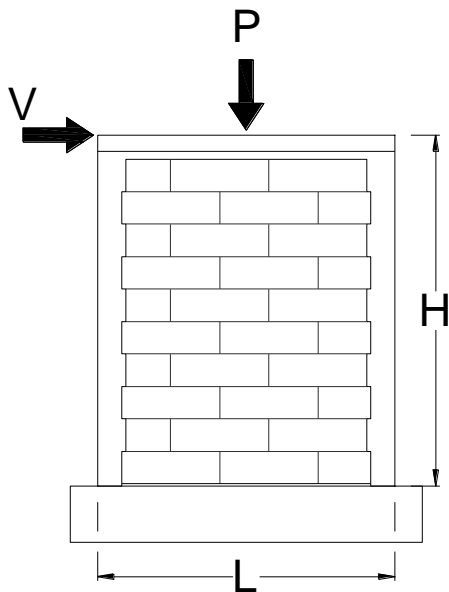


Figura 2.1 Muro confinado sujeto a carga axial y lateral.

Resistencia a flexión. Está asociada con el aplastamiento del concreto en la zona de compresión o con la fractura del acero de refuerzo en tensión (Figura 2.2).

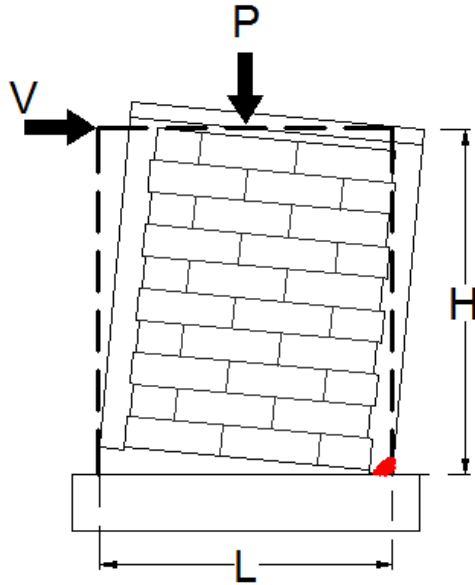


Figura 2.2 Falla por aplastamiento de un muro confinado.

La resistencia a flexión se puede determinar utilizando las hipótesis de la teoría de flexión (cinemática, constitutiva y equilibrio). Si se asume una distribución lineal de deformaciones, un bloque rectangular equivalente para los esfuerzos de compresión en el concreto y una profundidad del eje neutro (c) localizado dentro del castillo a compresión, la resistencia a flexión (M_f) del muro puede determinarse con la ecuación (2.1).

$$M_f = C \left(\frac{L - \beta_1 c}{2} \right) + T \left(\frac{L}{2} - r \right) \quad (2.1)$$

Dónde:

$$C = 0.85 f'_c \beta_1 c t \quad (2.2)$$

$$T = A_s f_s \quad (2.3)$$

$$P = C - T \quad (2.4)$$

En las ecuaciones anteriores, β_1 es el parámetro que relaciona la profundidad del bloque equivalente de los esfuerzos de compresión del concreto con la profundidad

del eje neutro, C es la fuerza resultante de los esfuerzos de compresión, T es la fuerza de tensión en el acero de refuerzo del castillo, r es el recubrimiento de dicho acero, f'_c es la resistencia a compresión del concreto, A_s es el área de acero de refuerzo longitudinal del castillo en tensión y f_s es el esfuerzo en dicho acero, obtenido a partir del modelo constitutivo propuesto por Rodríguez y Botero (1996). La carga lateral (V_f), asociada a la resistencia a flexión, se puede determinar con la ecuación (2.5).

$$V_f = M_f / H \quad (2.5)$$

Resistencia a cortante. Esta resistencia está asociada con la formación de la primera grieta diagonal en el panel del muro (Figura 2.3).

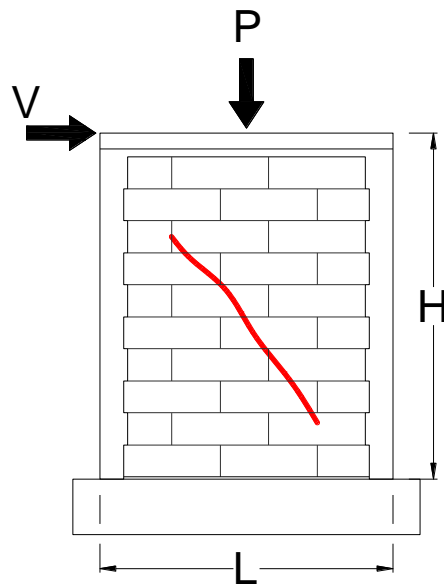


Figura 2.3 Grieta diagonal en un muro confinado.

La resistencia a cortante (V_s) se puede determinar con la ecuación (2.6) (Varela et al, 2018). Esta ecuación está basada en la teoría de esfuerzos principales. En dicha ecuación se considera explícitamente la relación de aspecto (H/L) y la relación entre la carga axial y el producto de la resistencia a tensión del CCA (f_{tCCA}) y el área del muro definida por el producto de la longitud (L) y el espesor (t) del muro.

$$V_s = \left(0.78 - 0.14 \frac{H}{L}\right) f_{tCCA} L t \sqrt{1 + \frac{P}{f_{tCCA} L t}} \quad (2.6)$$

Resistencia a flexo-cortante. Esta resistencia está asociada con la formación de una grieta horizontal a una altura igual a la longitud media del muro ($L/2$) y su posterior propagación en forma diagonal en el panel del muro (Figura 2.4).

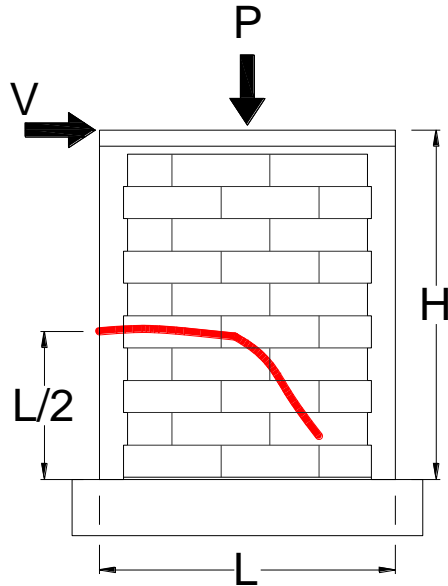


Figura 2.4 Grieta de flexo-cortante en un muro confinado.

La resistencia a flexo-cortante (V_{fs}) se puede determinar con la ecuación (2.7) (Varela et al, 2018). En esta ecuación se asume que la grieta horizontal y la grieta diagonal se presentan al mismo tiempo y que la grieta horizontal se forma a una altura igual a la longitud media del muro ($L/2$). En la ecuación (2.7), S_x y A_{tr} son el módulo de sección y el área transformados de CCA a concreto y f_r es la resistencia a tensión por flexión del concreto.

$$V_{fs} = 0.82 \left(\frac{S_x \left(f_r + \frac{P}{A_{tr}} \right)}{H - \frac{L}{2}} \right) \quad (2.7)$$

Resistencia al deslizamiento. Esta resistencia está asociada con el desplazamiento relativo del muro con respecto a su base (Figura 2.5).

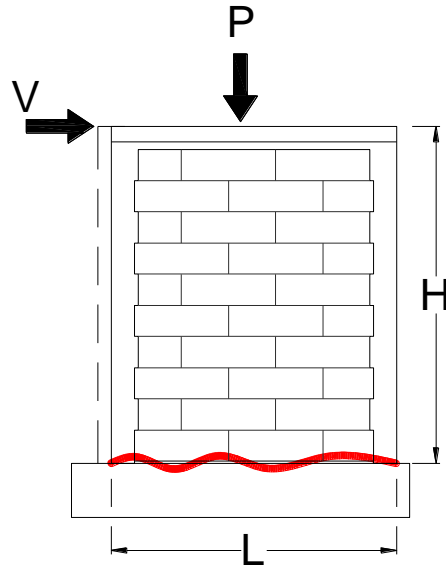


Figura 2.5 Grieta por deslizamiento relativo de un muro confinado.

La resistencia al deslizamiento (V_D) se puede calcular con la ecuación (2.8), donde μ es el coeficiente de fricción entre el CCA y el concreto de la base.

$$V_D = \mu \cdot P \quad (2.8)$$

2.2 Estudios de muros confinados de CCA a escala natural

Pinto (2018) ensayó dos muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Las dimensiones de los muros fueron de 456 cm x 240 cm x 15 cm (largo x alto x espesor). La variable de estudio fue el tipo de pieza. Un muro fue construido con bloques huecos de concreto y el otro con bloques sólidos de CCA Clase 4. El esfuerzo axial de compresión aplicado fue de 3.00 kg/cm². Los muros tuvieron comportamiento dominado por cortante. Las fallas estuvieron asociadas al excesivo agrietamiento diagonal por cortante y su propagación a los castillos. Concluyó que la resistencia a cortante de los muros es función de la relación de aspecto, la relación de esbeltez y la relación entre el esfuerzo axial de compresión y la resistencia a compresión de la mampostería. Propuso una ecuación para calcular la resistencia a cortante de muros confinados de cualquier tipo de pieza.

Varela et al. (2018) ensayaron siete muros de mampostería confinada de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles. Los muros fueron construidos con bloques sólidos de CCA Clase 4 y mortero de pared delgada. Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo axial de compresión. Para la primera variable se consideraron cuatro muros con relaciones de aspecto de 0.71, 1.30, 1.94 y 2.64 con un esfuerzo axial constante de 3.30 kg/cm^2 . La altura de los muros fue de 240 cm y el espesor de 15 cm. Los muros tuvieron comportamiento dominado por cortante. Las fallas estuvieron asociadas al excesivo agrietamiento diagonal por cortante y su propagación a los castillos. Se observó un patrón de agrietamiento final en forma de "X". Para la segunda variable se consideraron tres muros de 122 cm x 280 cm x 15 cm (largo x alto x espesor) con esfuerzos de 2.4, 4.8 y 7.2 kg/cm^2 . Los muros tuvieron un comportamiento dominado por flexión. Posterior a la fluencia del acero de refuerzo de los castillos se observaron agrietamientos por flexo-cortante. La parte horizontal de la grieta se formó en la junta constructiva de los castillos. La parte diagonal se formó a partir de la junta vertical entre el concreto y el panel de CCA. Las fallas estuvieron asociadas a una degradación de resistencia a flexión mayor al 20 por ciento. Los autores concluyeron que la resistencia a cortante aumenta conforme la relación de aspecto disminuye. Se propusieron modificaciones a las ecuaciones de diseño por cortante y flexo-cortante. Observaron que al incrementar el esfuerzo axial de compresión la resistencia a flexión aumenta y la ductilidad de desplazamiento disminuye. La resistencia a flexión de los muros puede ser calculada adecuadamente por medio de la teoría de flexión.

En un trabajo conjunto se estudió el comportamiento a cortante de ocho muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales cíclicas reversibles (Fernández, 2019; Naal, 2019; Ricalde, 2019). Las variables de estudio fueron la relación de aspecto y el esfuerzo a compresión. Se consideraron relaciones de 0.71, 1.23, 1.94 y 2.640, y esfuerzos de 4.8 y 7.2 kg/cm^2 . La altura de los muros fue de 240 cm. Los muros se construyeron utilizando bloques sólidos con dimensiones de 15 x 20 x 61 cm (espesor x altura x longitud) y mortero de pared delgada. La resistencia a compresión del CCA fue de 53.88 kg/cm^2 . Los muros con las menores relaciones

de aspecto (0.71 y 1.23) presentaron primero agrietamientos diagonales. Los muros con las mayores relaciones de aspecto (1.94 y 2.64) presentaron primero agrietamientos por flexo-cortante. Se desarrollaron ecuaciones de diseño por cortante y flexo-cortante (Fernández, 2019). Se evaluó el daño en función de la capacidad de deformación, la degradación de rigidez y los patrones de agrietamiento de los muros (Naal, 2019). Se propusieron dos modelos de histéresis para representar el comportamiento a cortante, uno con y el otro sin degradación de resistencia (Ricalde, 2019).

2.3 Conclusiones de la revisión de la literatura

Se encontró que existen pocos estudios sobre el comportamiento de muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales (Pinto 2018; Varela et al., 2018; Fernández, 2019; Naal, 2019; Ricalde, 2019). En estos estudios se consideró el comportamiento por flexión y cortante de los muros. Las variables estudiadas fueron la relación de aspecto, el esfuerzo a compresión y la clase del CCA. En estos trabajos se presentan análisis sobre la resistencia, rigidez, capacidad de deformación y ductilidad de los muros. A su vez, se proponen ecuaciones para determinar la resistencia a flexión, cortante y flexo-cortante. Aunque estas ecuaciones fueron desarrolladas para muros a escala natural, se pueden utilizar como referencia para obtener las combinaciones de cargas laterales y axiales que inducen las fallas en los muros a escala reducida. Estas cargas se pueden utilizar para diseñar un sistema de cargas para dicho tipo de muros.

CAPÍTULO 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CARGA

Se presentan las actividades que se realizaron para el diseño y construcción de un sistema de carga para muros confinados de CCA a escala reducida: (1) características de los muros y del sistema de carga, (2) estructuración de la losa de reacción, (3) estructuración del sistema de carga lateral, (4) estructuración del sistema de carga axial, (5) anclaje de los muros espécimen a la losa de reacción móvil, (6) anclaje de losa de reacción móvil a losa existente, (7) análisis estructural, (8) dimensionamiento y (9) construcción.

3.1 Características de los muros y del sistema de carga

El sistema de carga servirá para el ensaye de muros confinados de CCA a escala 1:2, 1:3 y 1:4. Se utilizaron como muros a escala natural los estudiados por Ricalde (2019). Las características de los muros a escala natural y reducida se presentan a continuación.

Muros a escala natural.

- Altura de muros (H) de 240 cm.
- Longitud de muros (L) de 195, 124 y 91 cm.
- Dimensiones de bloques sólidos de CCA de 15 x 20 x 61 cm (espesor x altura x longitud).
- Mortero de nivelación de 1:3 en proporción por volumen (cemento Portland: arena). Espesor de la junta: 10 mm.
- Sección transversal de castillos de 15 x 15 cm (base x altura).
- Sección trasversal de cadena superior de 15 x 15 cm (base x altura).
- Esfuerzo a compresión axial en muros de 3 kg/cm² (Ricalde, 2019).
- Resistencia a compresión del CCA (f_{CCA}) de 53.88 kg/cm² (Ricalde, 2019).
- Resistencia a tensión por compresión del CCA (f_{tCCA}) de 4.65 kg/cm² (Ricalde, 2019).

- Resistencia a compresión promedio del concreto ($f'c$) de castillos y cadenas de 161.66 kg/cm^2 (Ricalde, 2019).
- Resistencia a tensión por flexión del concreto (f_r) de 27.52 kg/cm^2 (Ricalde, 2019)
- Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo longitudinal de los castillos (f_y) de 4338.25 kg/cm^2 (Ricalde, 2019)
- Coeficiente de fricción entre el CCA y el concreto hidráulico de 1.

Muros a escala 1:2.

- Altura de muros (H) de 120 cm.
- Longitud de muros (L) de 97.5, 62 y 45.5 cm.
- Dimensiones de bloques sólidos de CCA de $7.5 \times 10 \times 30.5 \text{ cm}$ (espesor x altura x longitud).
- Espesor de la junta de mortero hidráulico 1:3 (cemento Portland:arena) de 5 mm.
- Espesor de la junta de mortero de pared delgada de 1 - 2 mm.
- Sección transversal de castillos de $7.5 \times 7.5 \text{ cm}$ (base x altura).
- Sección trasversal de cadena superior de $10 \times 25 \text{ cm}$ (base x altura).

Muros a escala 1:3.

- Altura de muros (H) de 80 cm.
- Longitud de muros (L) de 65, 41.33 y 30.33 cm.
- Dimensiones de bloques sólidos de CCA de $5 \times 6.67 \times 20.33 \text{ cm}$ (espesor x altura x longitud).
- Mortero de nivelación de 1:3 en proporción por volumen (cemento Portland: arena). Espesor de la junta: 3.33 mm.
- Sección transversal de castillos de $5 \times 5 \text{ cm}$ (base x altura).
- Sección trasversal de cadena superior de $10 \times 25 \text{ cm}$ (base x altura).

Muros a escala 1:4.

- Altura de muros (H) de 60 cm.
- Longitud de muros (L) de 48.75, 31 y 22.75 cm.

- Dimensiones de bloques sólidos de CCA de 3.75 x 5 x 15.25 cm (espesor x altura x longitud).
- Mortero de nivelación de 1:3 en proporción por volumen (cemento Portland: arena). Espesor promedio de la junta: 2.5 mm.
- Sección transversal de castillos de 10 x 25 cm (base x altura).

El sistema de carga está formado por una losa de reacción móvil, un sistema de carga lateral y un sistema de carga axial. La losa de reacción móvil servirá para anclar los muros espécimen, el sistema de carga lateral y el sistema de carga axial. El sistema de carga lateral servirá para aplicar cargas laterales cíclicas reversibles a los muros espécimen. El sistema de carga axial servirá para aplicar cargas axiales constantes a los muros espécimen.

3.2 Estructuración de la losa de reacción

Se consideró una losa de reacción móvil que pueda anclarse en diferentes puntos de la losa de reacción del laboratorio de Estructuras y Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. Se consideró también que la losa sea modular, es decir, que se pueda ampliar en su longitud en un futuro. La losa de reacción móvil está formada por una losa y traveses de concreto reforzado (Figura 3.1). Se consideraron agujeros en la losa de reacción móvil para anclarla a la losa de reacción existente. Se consideraron también agujeros para anclar los muros espécimen y los sistemas de carga lateral y axial. La distribución de los agujeros se presenta en la Figura 3.1.

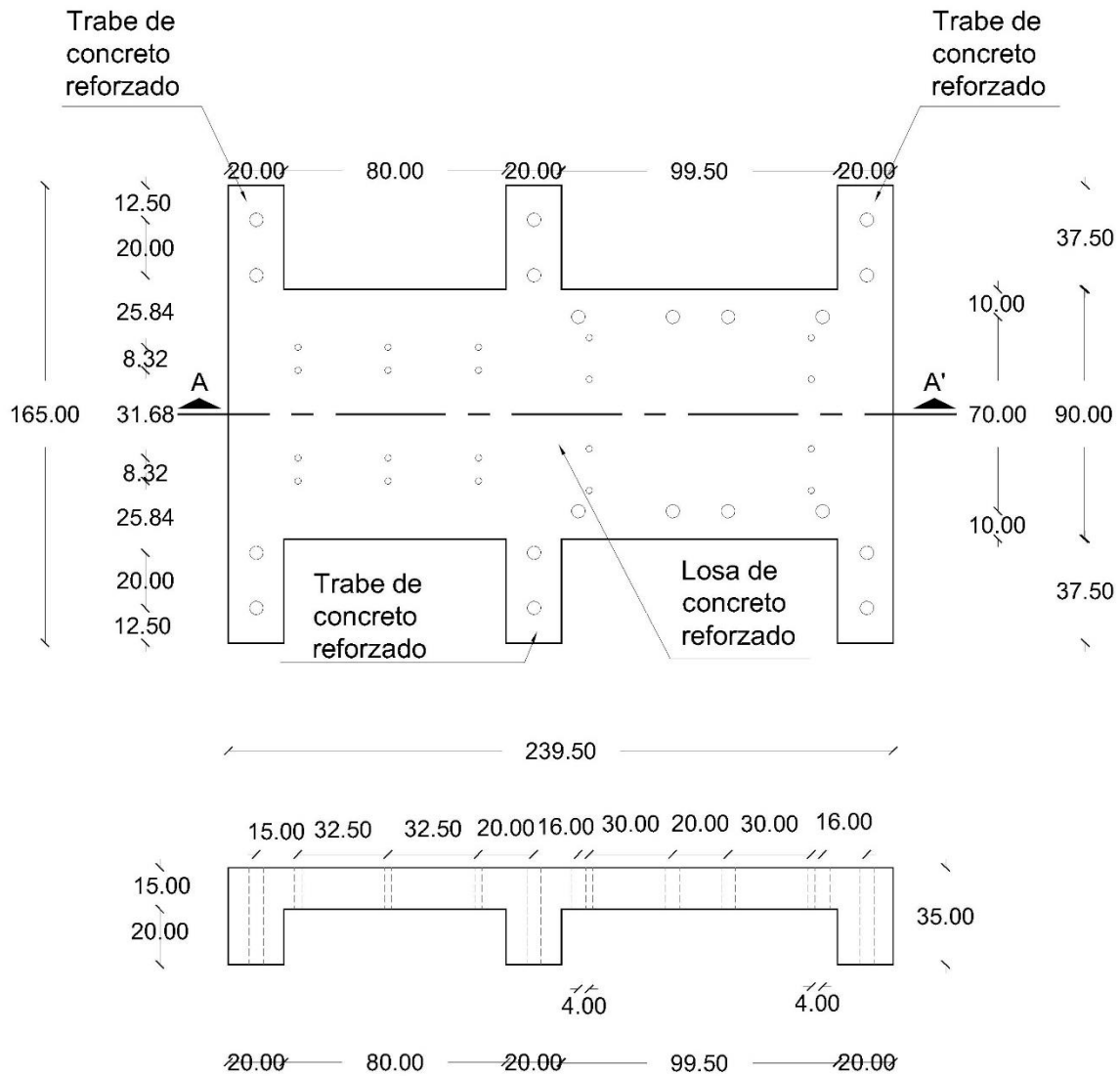


Figura 3.1 Dimensiones de la losa de reacción móvil (vista en planta y corte A-A').

3.3 Estructuración del sistema de carga lateral

El sistema de carga lateral está formado por dos marcos de carga lateral de acero en paralelo, una viga de carga lateral de acero y un actuador hidráulico (Figura 3.2).

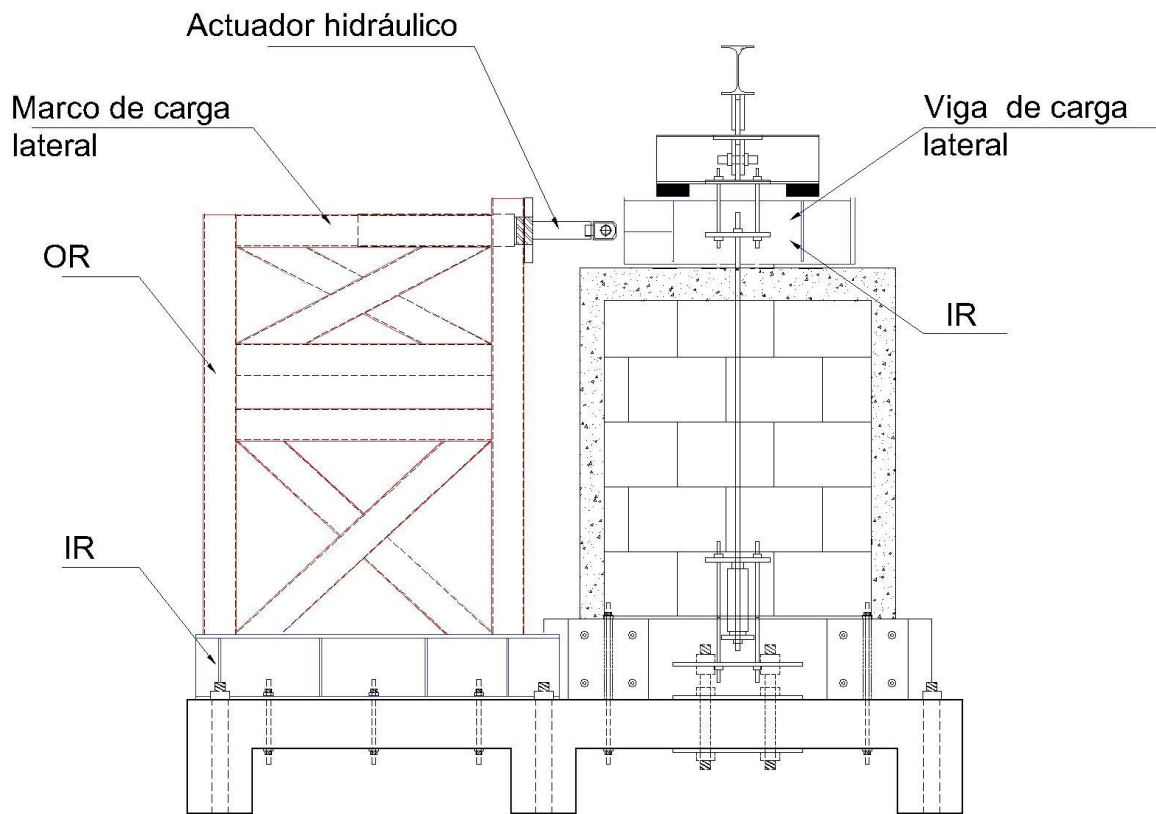


Figura 3.2 Sistema de carga lateral.

Para los marcos de carga lateral se utilizaron perfiles OR de 10.16 cm x 0.32 cm e IR 20.3 cm x 0.358 kg/cm (Figura 3.2). Para la viga de carga lateral se utilizó un perfil IR 20.3 cm x 0.358 kg/cm (Figura 3.2). Los marcos de carga lateral se anclarán a la losa de reacción móvil utilizando barras roscadas tipo B-7 de 1.27 cm de diámetro.

Para aplicar las cargas laterales a los muros se consideró un actuador hidráulico de doble vía modelo RR 3014 marca “ENERPAC”. La capacidad del actuador es de 30 ton a compresión y 6 ton en tensión. Los marcos de carga lateral están unidos mediante una placa de conexión de acero de 50.16 x 20 x 2.54 cm (longitud x altura x espesor) (Figura 3.3). La placa se utiliza para sujetar el actuador hidráulico. Dicha placa se puede colocar a diferentes alturas de aplicación de carga dependiendo de la escala seleccionada para los muros (Figura 3.3).

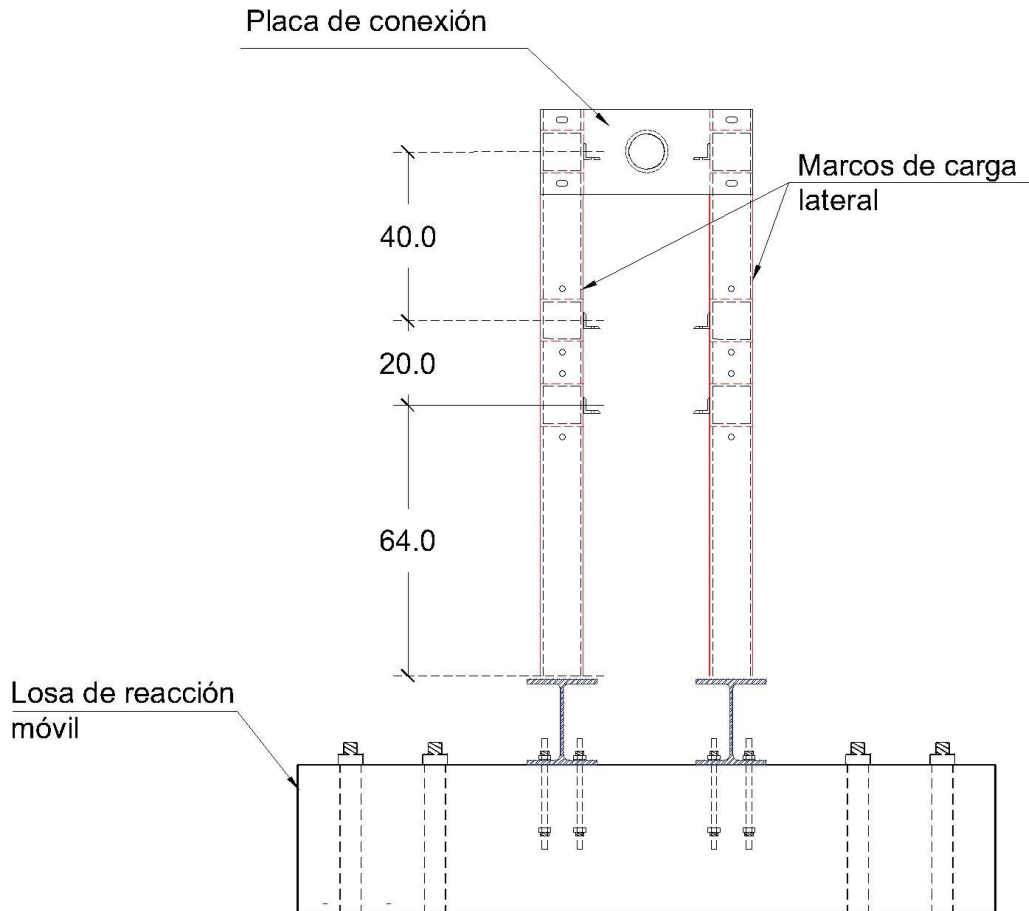


Figura 3.3 Vista frontal del sistema de carga lateral.

3.4 Estructuración del sistema de carga axial

El sistema de carga axial está formado por una viga balancín de acero, una viga de repartición de carga axial de acero, dos tensores de acero y un actuador hidráulico (Figura 3.4). Para la viga balancín y la viga de repartición de carga axial se utilizó un perfil IR de 15.2 cm x 0.136 kg/cm. Se utilizaron como tensores barras roscadas tipo B7 de 1.27 cm de diámetro. El sistema de carga axial se anclará a la losa de reacción móvil utilizando barras roscadas tipo B-7 de 3.18 cm de diámetro. Se consideró un actuador hidráulico modelo RC 102 marca "ENERPAC". La capacidad del actuador es de 10 ton.

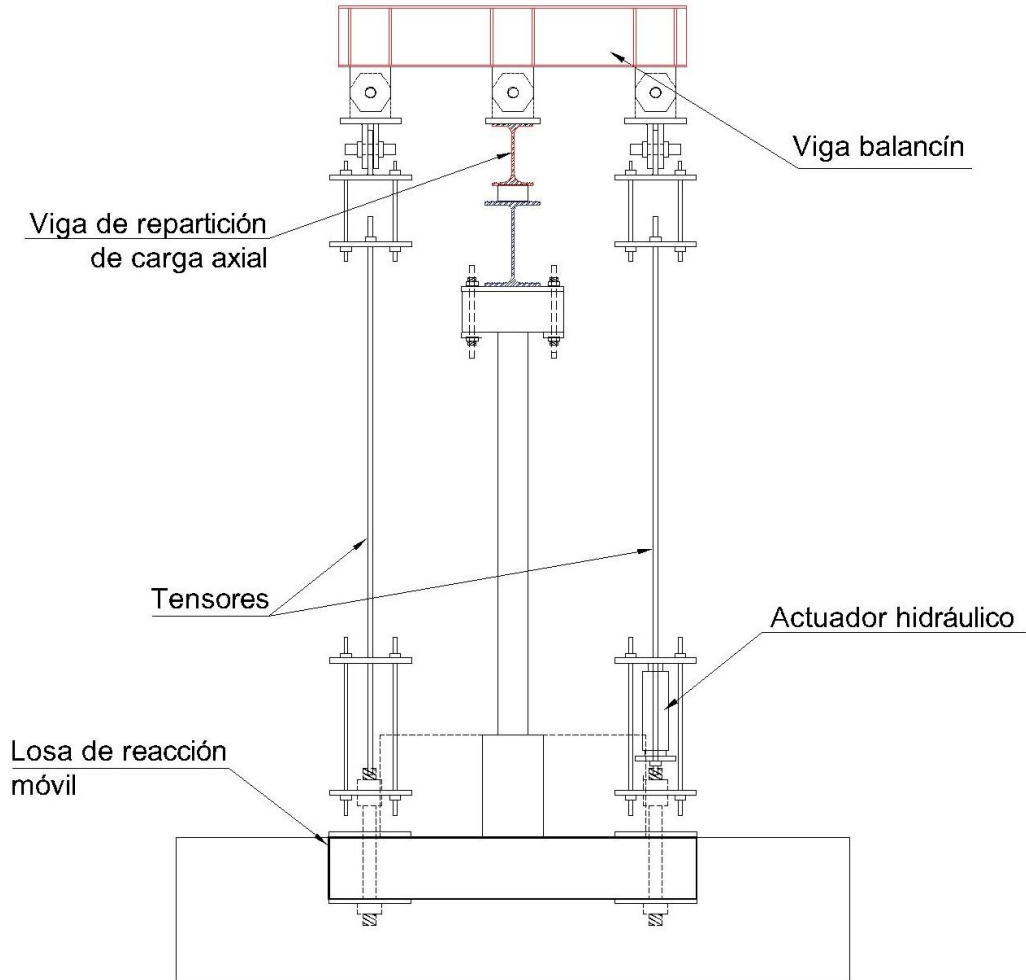


Figura 3.4 Sistema de carga axial.

3.5 Anclaje de los muros espécimen a la losa de reacción móvil

Las cimentaciones de los muros espécimen se anclarán a la losa de reacción móvil mediante bloques de concreto reforzado y barras roscadas tipo B-7 de 1.27 cm de diámetro (Figura 3.5). El anclaje se realizará tanto en forma horizontal como vertical (Figura 3.5). Se utilizarán dos pares de bloques de concreto para anclar las cimentaciones. En cada par, se utilizarán cuatro barras roscadas horizontales y cuatro verticales.

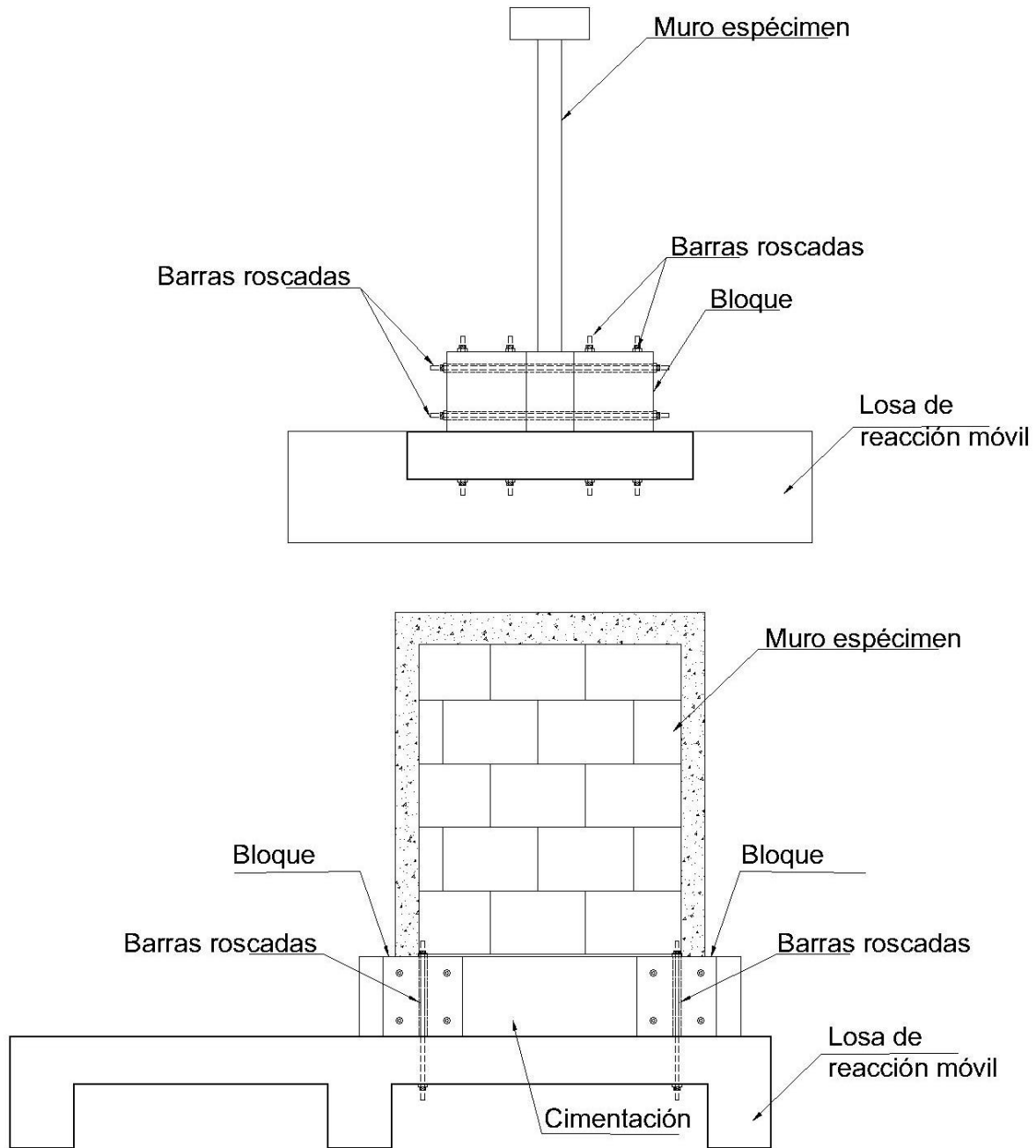


Figura 3.5 Anclaje de muros espécimen a losa de reacción móvil.

3.6 Anclaje de la losa de reacción móvil a la losa de reacción existente

La losa de reacción móvil se anclará a la losa de reacción del laboratorio de la Facultad de Ingeniería de la UADY utilizando 12 barras roscadas tipo B-7 de 3.18

cm de diámetro (Figura 3.6). Para el anclaje se utilizarán las reacciones presentadas posteriormente en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3.

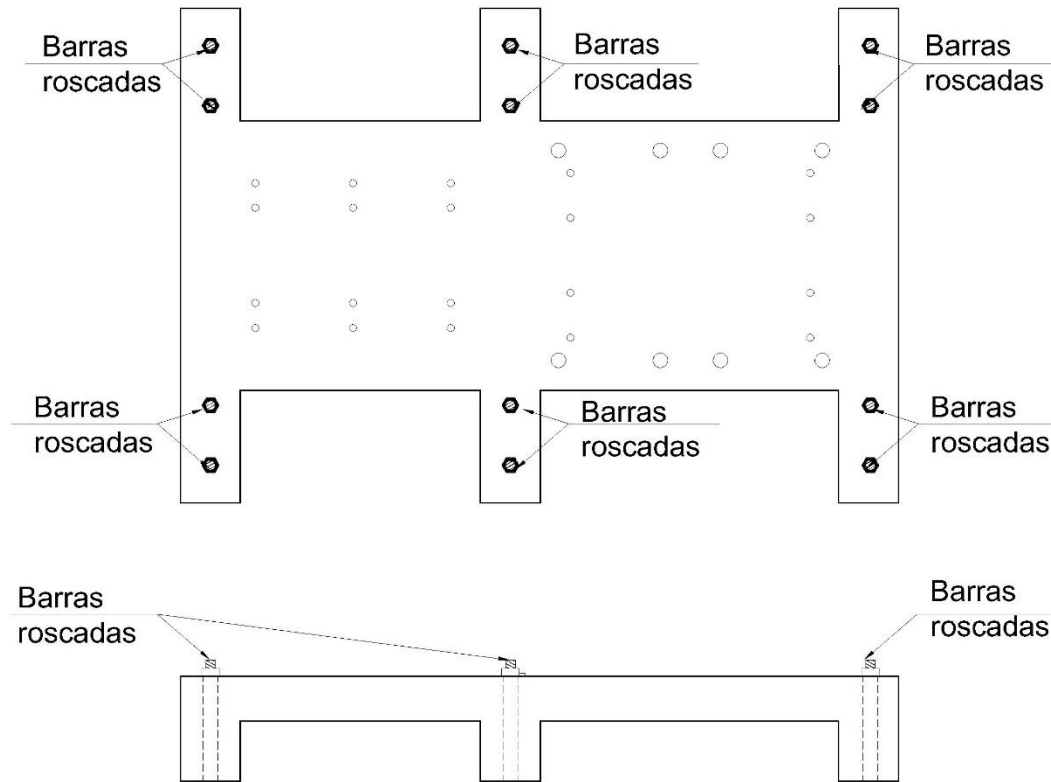


Figura 3.6 Anclaje de losa de reacción móvil a losa de reacción existente.

3.7 Análisis estructural

Para el análisis de cargas se consideraron las cargas laterales y axiales de falla de los muros espécimen a escala reducida. Se consideró que las cargas laterales de los muros espécimen se pueden determinar con las ecuaciones de resistencia establecidas para muros confinados de CCA a escala natural. Se determinaron las cargas laterales asociadas con la resistencia a flexión (2.1), cortante (2.6), flexo-cortante (2.7) y deslizamiento (2.8) de los muros a escala reducida propuestos. Las cargas axiales de los muros espécimen a escala reducida se calcularon con los esfuerzos axiales y las áreas correspondientes descritas anteriormente. Las cargas laterales y axiales obtenidas para los muros a escala reducida se presentan en la

Tabla 3.1. Las cargas laterales presentadas en la tabla correspondieron a cortante y flexo-cortante.

Tabla 3.1 Cargas laterales y axiales de muros.

Muro	H/L	Escala	Carga lateral (kg)	Carga axial (kg)
M-1.23-3.0	1.23	1:2	2651.14	2197
		1:3	1177.94	975
		1:4	662.48	548
M-1.94-3.0	1.94	1:2	1411.74	1395
		1:3	627.44	620
		1:4	352.98	349
M-2.64-3.0	2.64	1:2	856.83	1025
		1:3	380.72	455
		1:4	214.17	256

Se desarrollaron modelos tridimensionales del sistema de carga (Figura 3.7 y Figura 3.8). En la Figura 3.9 se presentan una vista en planta y una vista frontal del modelo matemático. La losa de reacción móvil se modeló utilizando elementos marco para las trabes y la losa. Los marcos del sistema de carga lateral se modelaron utilizando elementos marco. El muro espécimen se modeló utilizando un marco equivalente formado por trabes, columnas y diagonales. Dichos elementos se modelaron utilizando elementos marco. Se consideró que las cargas laterales pueden actuar en dos direcciones debido a las cargas cíclicas reversibles. Se consideraron apoyos articulados en los extremos de las trabes de la losa de reacción móvil. El módulo de elasticidad del concreto se determinó utilizando la ecuación (3.1) (Sánchez, 2017).

$$11000\sqrt{f'c}. \quad (3.1)$$

Se consideró una resistencia a compresión del concreto de 250 kg/cm². Se consideró un módulo de elasticidad del acero de 2.039 x 10⁶ kg/cm². Las ecuaciones de cortante y flexo-cortante utilizadas para los muros están asociadas al primer agrietamiento, por tanto, las cargas de la tabla 3.1 se amplificaron por un factor de carga de 1.40 para estimar las cargas de falla correspondientes. Para el

caso de muros a escala 1:2, la carga lateral máxima considerada en el diseño fue de 3711.60 kg, a su vez la carga axial máxima considerada fue de 3075.80 kg.

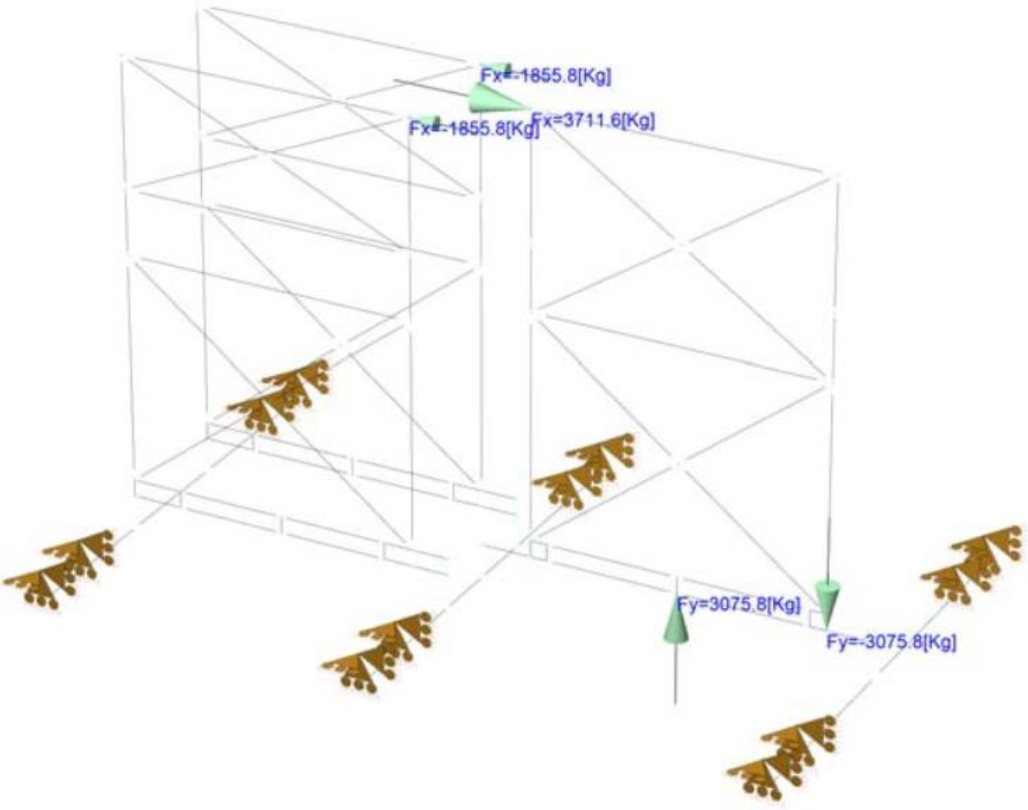


Figura 3.7 Modelo matemático empujando.

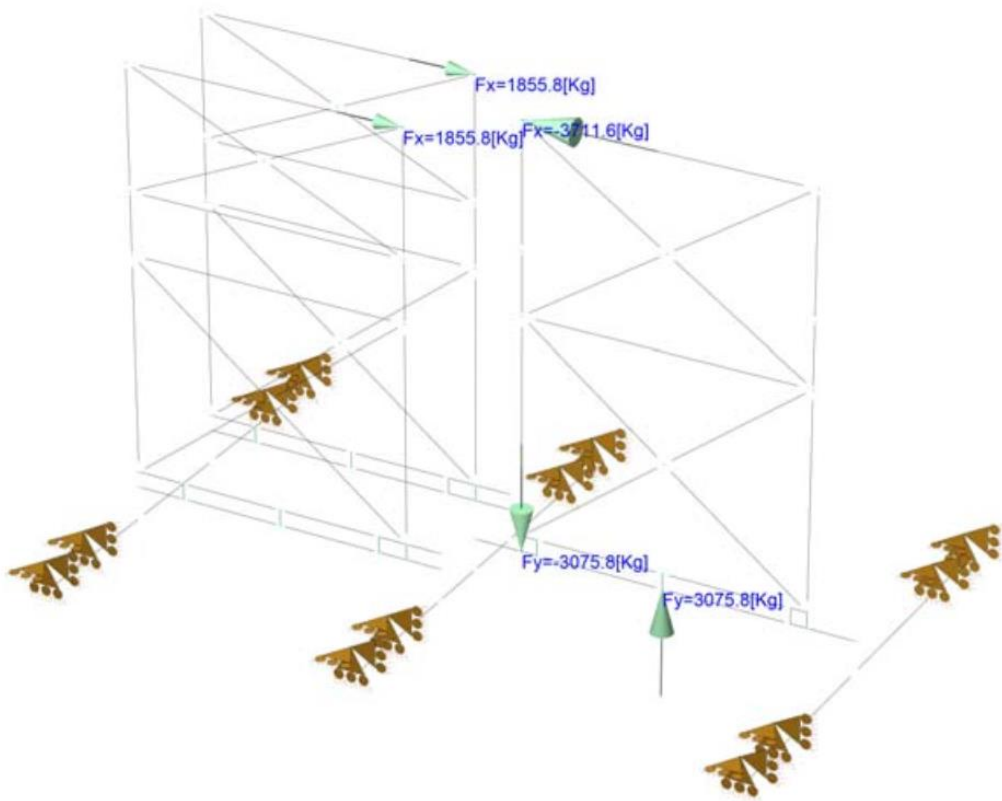


Figura 3.8 Modelo matemático jalando.

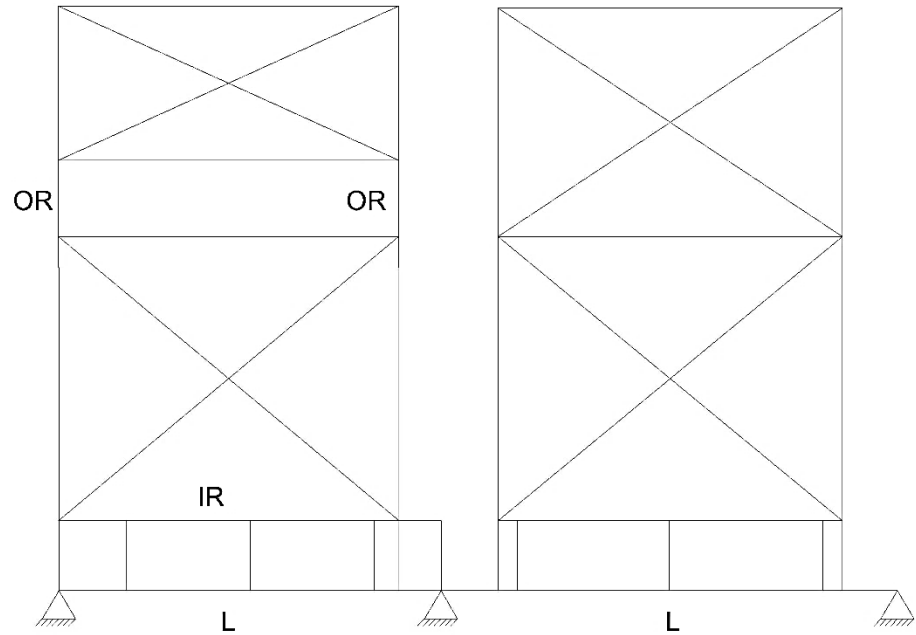
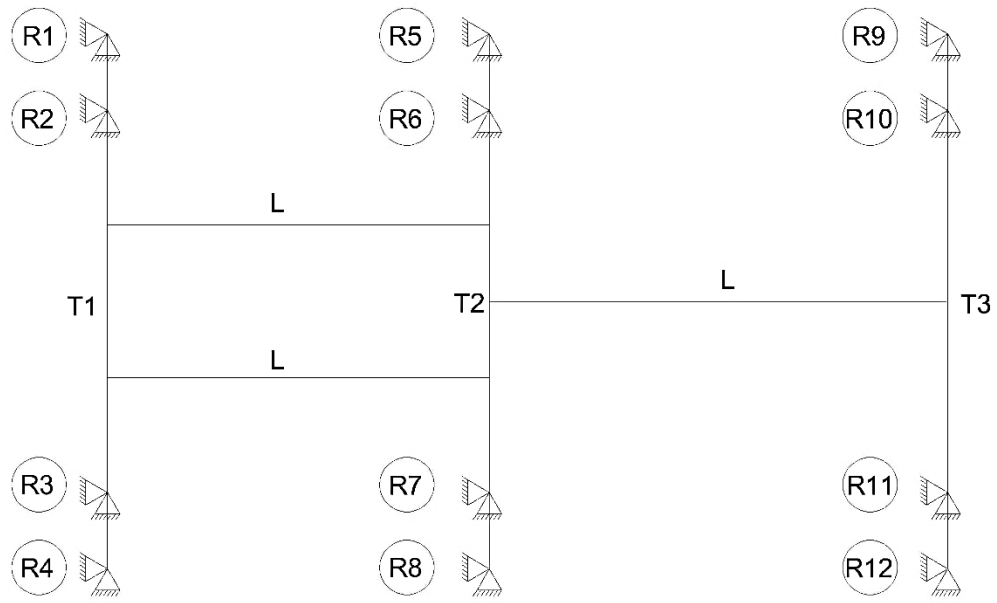


Figura 3.9 Vista en planta y alzado del modelo matemático.

En la Tabla 3.2 y Tabla 3.3 se presentan las reacciones máximas obtenidas para los apoyos del sistema de carga.. En la Tabla 3.4 y Tabla 3.5 se presentan los elementos mecánicos máximos obtenidos para las trabes, la losa y los marcos de carga. Las reacciones y elementos mecánicos presentados se encuentran amplificados por el factor de carga de 1.40.

Tabla 3.2 Reacciones (se empuja el muro espécimen).

Nodo	Rx (kg)	Ry (kg)
R1	11.03	-1888.20
R2	6.55	4981.68
R3	6.55	4981.68
R4	11.03	-1888.20
R5	65.09	3588.36
R6	-1.63	-8631.37
R7	-1.63	-8631.37
R8	65.09	3588.36
R9	53.97	-2338.30
R10	-135.01	5541.97
R11	-135.01	5541.97
R12	53.97	-2338.30

Tabla 3.3 Reacciones (se jala el muro espécimen).

Nodo	Rx (kg)	Ry (kg)
R1	4.58	1522.25
R2	-69.57	-3824.42
R3	-69.57	-3824.42
R4	4.58	1522.25
R5	-43.16	-4102.44
R6	-74.54	10106.00
R7	-74.54	10106.00
R8	-43.16	-4102.44
R9	-121.65	1942.06
R10	304.34	-4389.30
R11	304.34	-4389.30
R12	-121.65	1942.06

Tabla 3.4 Elementos mecánicos (se empuja el muro espécimen).

Elemento	V (kg)	M (kg-cm)	P (kg)
T1	3046.45	-56807	1857.26
T2	5160.6	105731	-3443.44
T3	3156.63	85038	2261.72
L	6010.02	90661	3617.91
OR	992.66	-10261	2016.54
IR	2640.08	25418	937.44

Tabla 3.5 Elementos mecánicos (se jala el muro espécimen).

Elemento	V (kg)	M (kg-cm)	P (kg)
T1	2419.77	44500	-1452.56
T2	5956.52	-122194	3967.43
T3	2611.88	-70890	-1839.33
L	5972.88	78867	3414.62
OR	991.1	10074	-1994.66
IR	2634.92	38686	817.26

3.8 Dimensionamiento

Los elementos estructurales de concreto reforzado se dimensionaron utilizando las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto 2017 (GCM, 2017). Los elementos estructurales de acero se dimensionaron utilizando el reglamento del Instituto Americano de Construcción con Acero (AISC, 2010). Para el dimensionamiento de los elementos estructurales se utilizaron los factores de reducción de resistencia especificados en dichas normas y reglamentos. Se consideraron las siguientes propiedades de los materiales:

- Resistencia a compresión del concreto (f'_c) de **250** kg/cm².
- Resistencia a tensión del acero de refuerzo (f_y) de **4200** kg/cm².
- Resistencia a tensión del acero estructural (f_y) de **2530** kg/cm²
- Resistencia a tensión del acero B7 (f_y) de **7380** kg/cm².

3.9 Construcción

La losa de reacción móvil fue construida por un trabajador experimentado. El procedimiento constructivo empleado se describe a continuación:

1. Se construyó una tarima como base (Figura 3.10).
2. Se habilitó la cimbra y el acero de refuerzo de las trabes y la losa (Figura 3.11)
3. Se utilizaron tubos de PVC para los agujeros de anclaje (Figura 3.12).
4. Se colocaron ganchos de izaje (Figura 3.13).
5. Se colocó el concreto de la losa de reacción (Figura 3.14).
6. Se deshabilitó la cimbra (Figura 3.15).

El sistema de carga lateral y axial fue fabricado por una empresa local de acero.



Figura 3.10 Tarima para losa de reacción móvil.



Figura 3.11 Habilitado del acero de refuerzo.



Figura 3.12 Colocación de tubos de PVC.

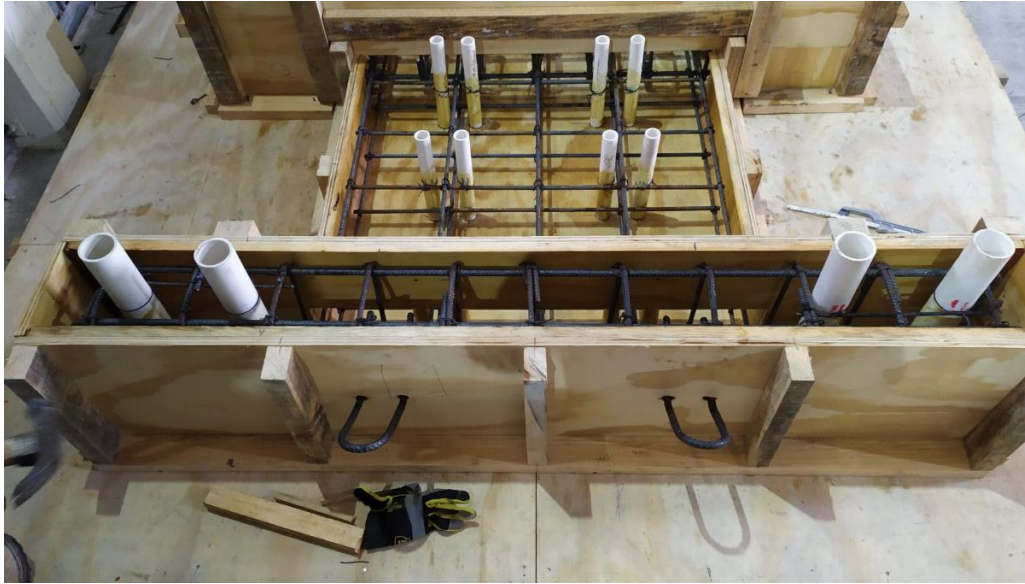


Figura 3.13 Colocación de ganchos de izaje.



Figura 3.14 Colocación del concreto.

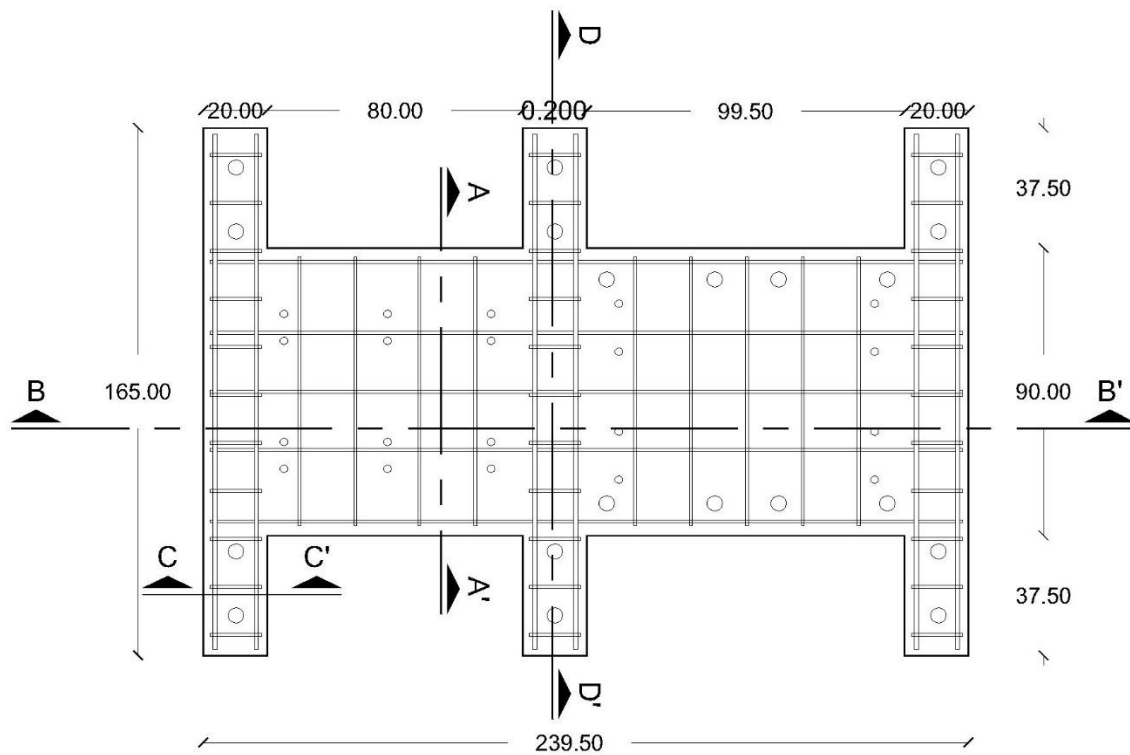


Figura 3.15 Deshabilitado de cimbra.

CAPÍTULO 4. DETALLES DEL SISTEMA DE CARGA

4.1 Losa de reacción móvil

De la Figura 4.1 a la Figura 4.3 se presentan los detalles de la losa de reacción móvil.



Escala 1:20
Cotas en cm.

Figura 4.1 Detalles de la losa de reacción móvil (vista en planta).

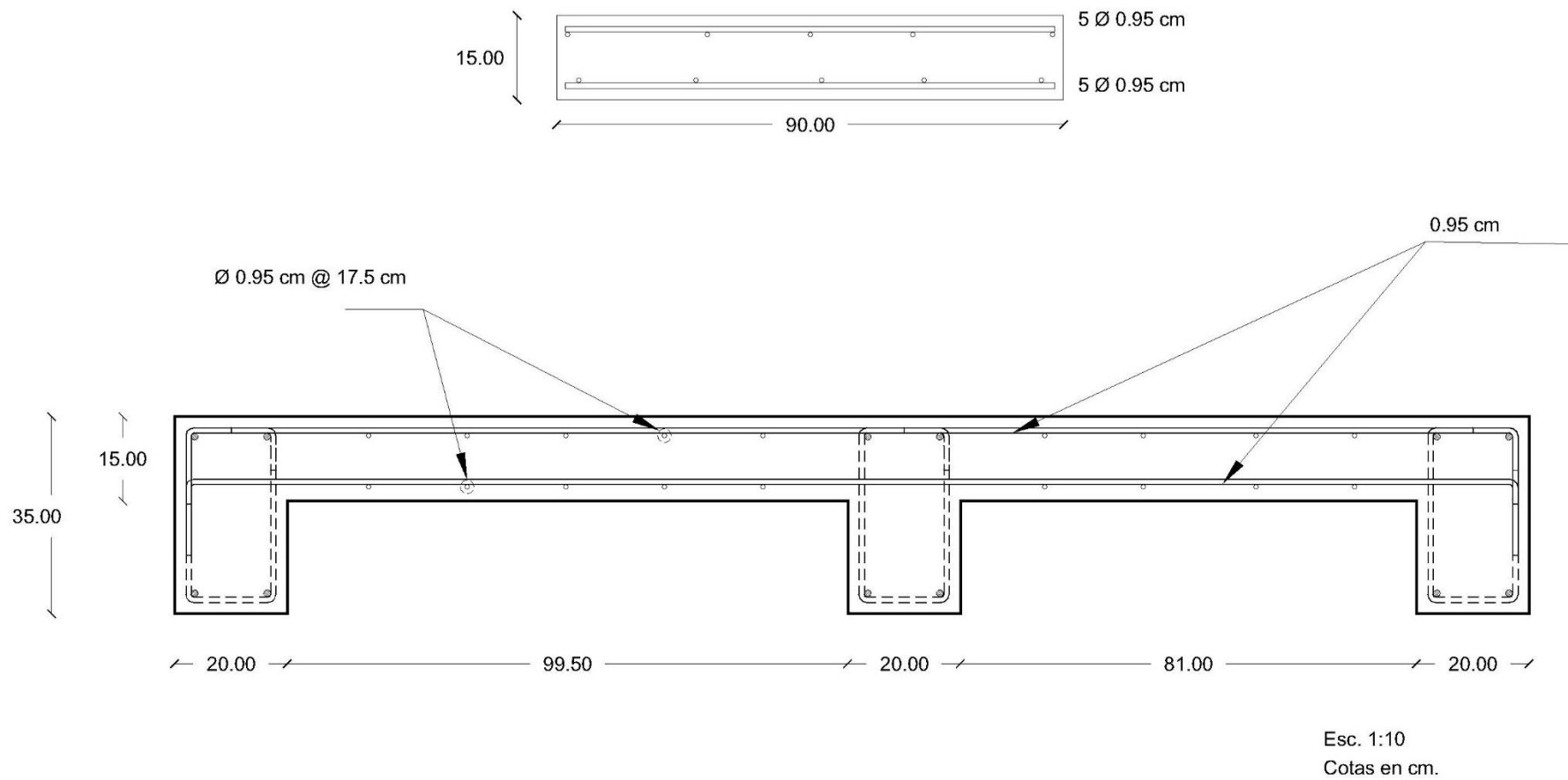


Figura 4.2 Detalles de la losa de reacción móvil (corte transversal A-A' y B-B').

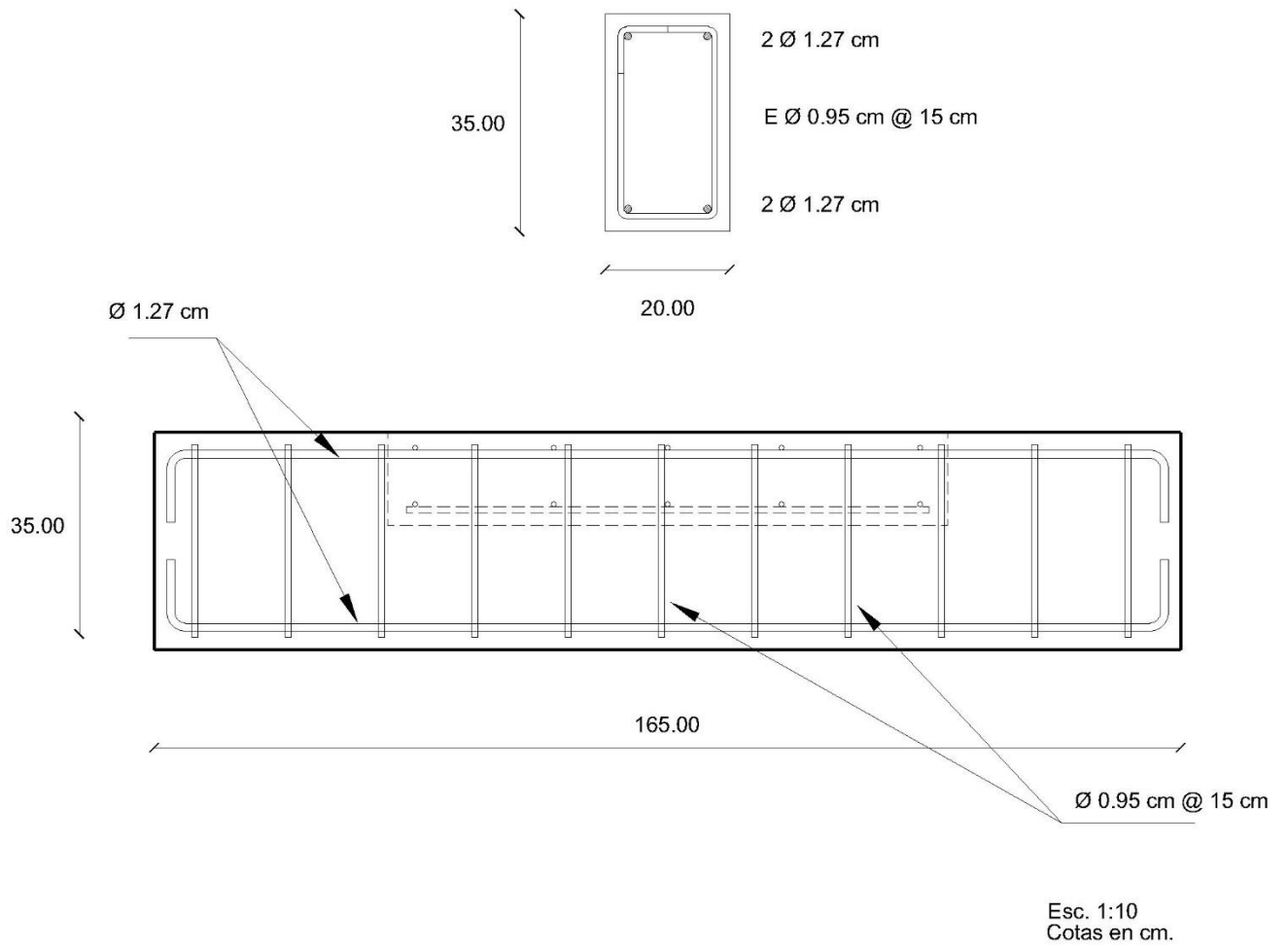


Figura 4.3 Detalles de la losa de reacción móvil (corte C-C' y D-D').

4.2 Sistema de carga lateral

De la Figura 4.4 a la Figura 4.8 se presentan los detalles del sistema de carga lateral.

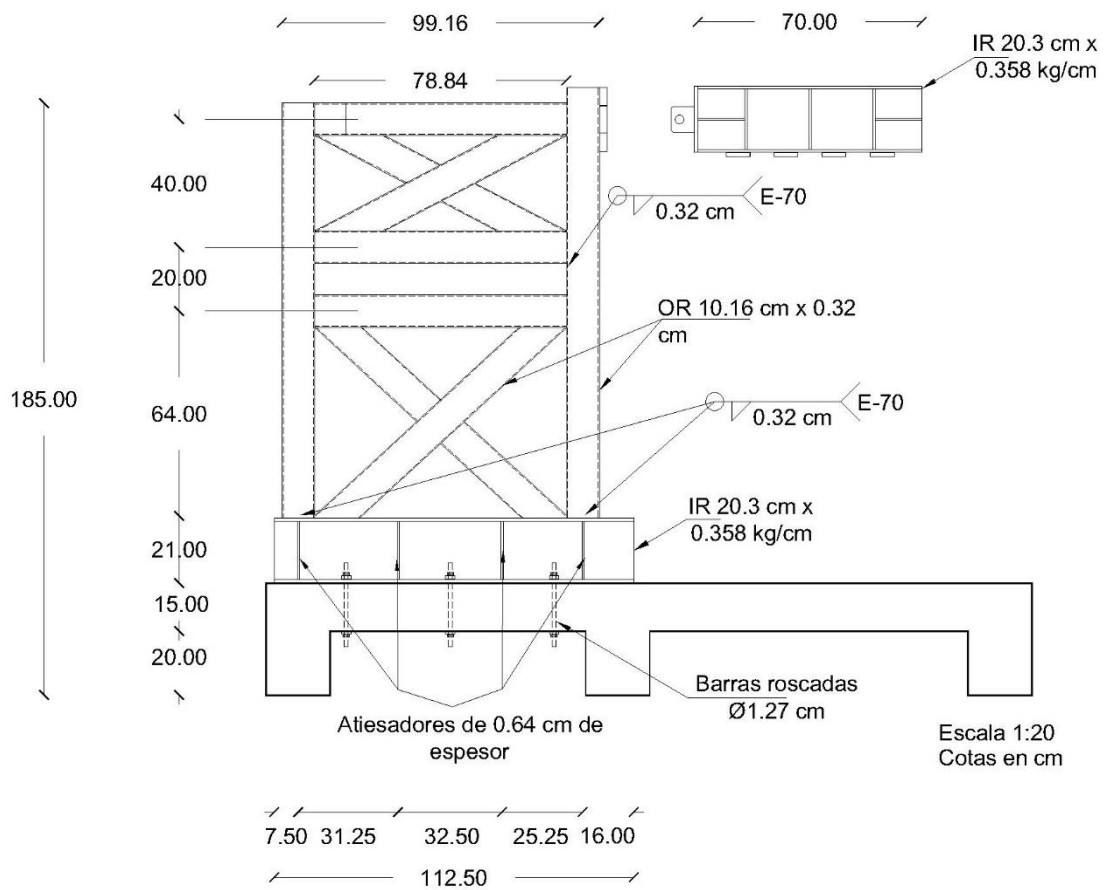


Figura 4.4 Detalles del sistema de carga lateral (vista frontal), se omiten detalles de muro por claridad.

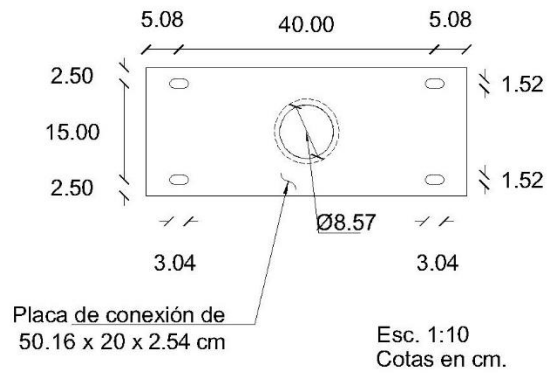
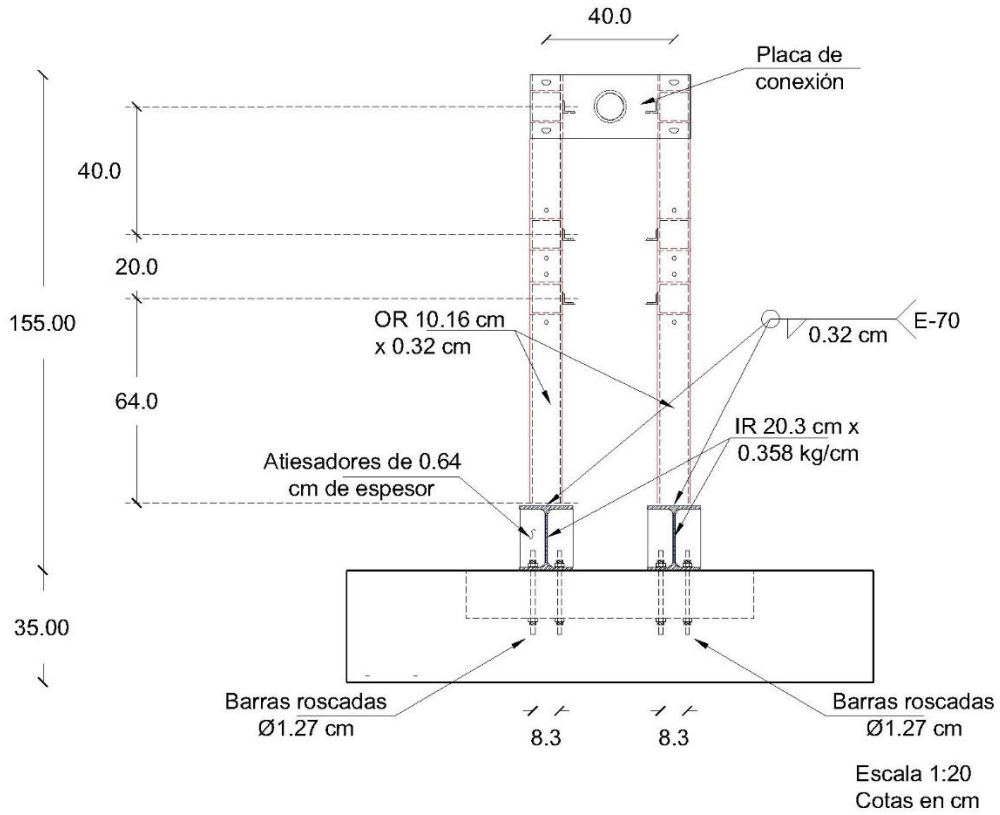
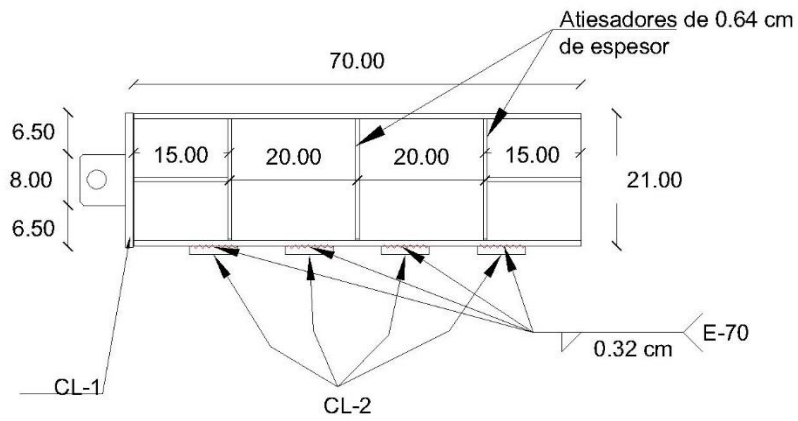
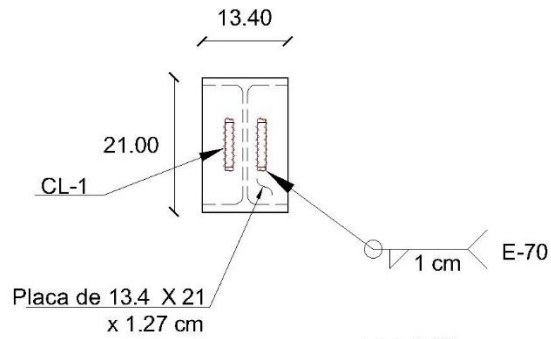


Figura 4.5 Detalle del sistema de carga lateral (vista lateral y placa de conexión).



Esc. 1:10
Cotas en cm.

Figura 4.6 Detalle de viga de carga lateral (vista longitudinal).



Esc. 1:10
Cotas en cm.

Figura 4.7 Detalle de viga de Carga lateral (vista transversal).

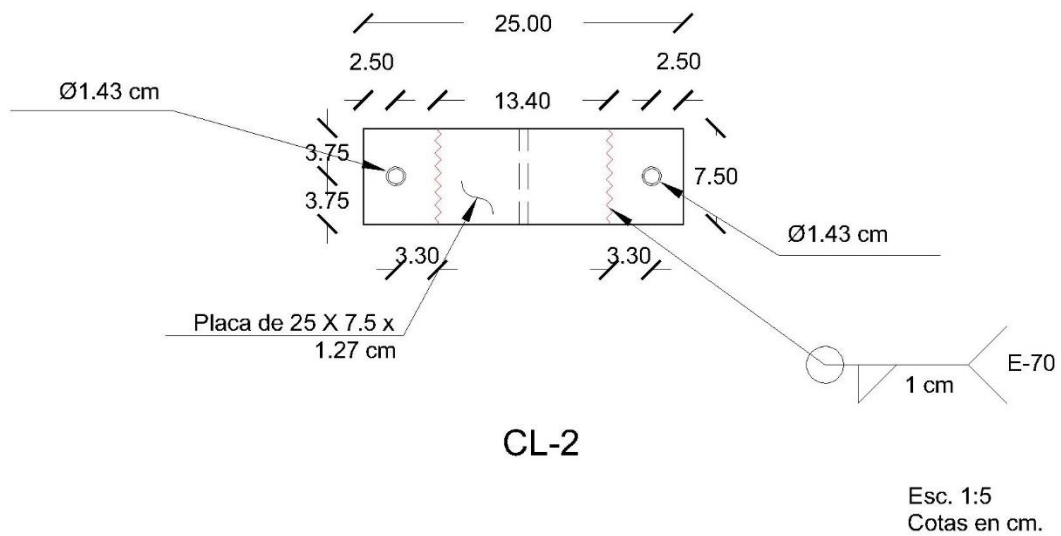


Figura 4.8 Detalle de viga de carga lateral (placas de anclaje y de conexión)

4.3 Sistema de carga axial

De la Figura 4.9 a la Figura 4.20 se presentan los detalles del sistema de carga axial.

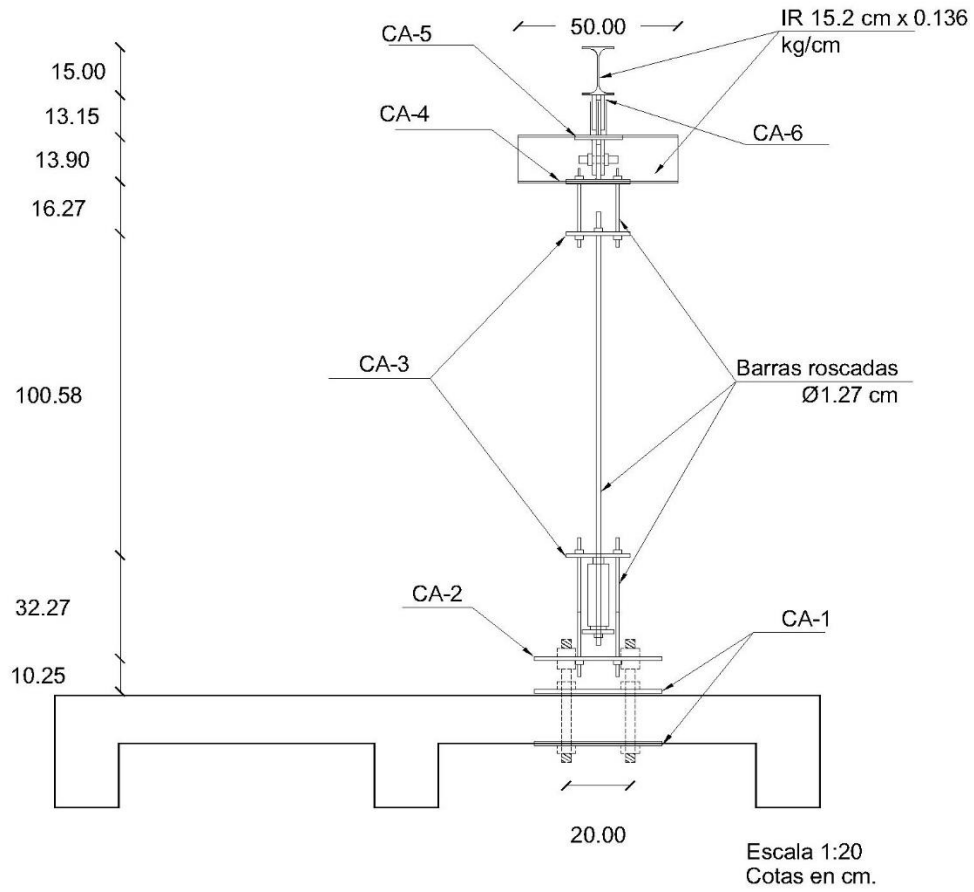
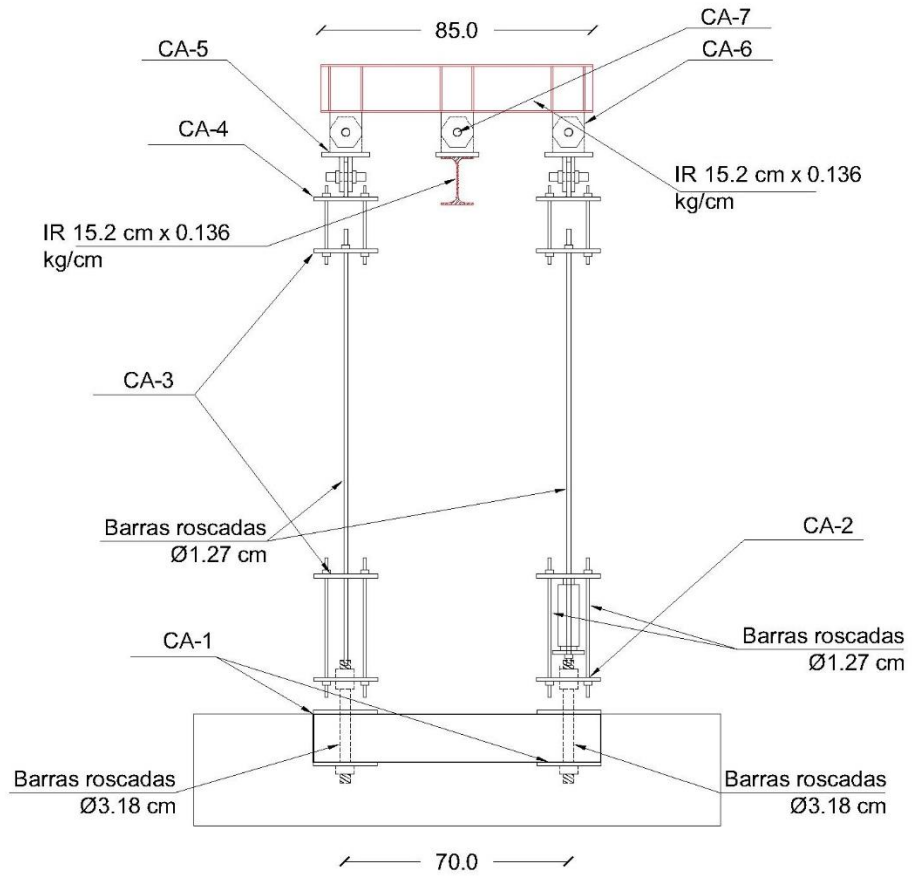
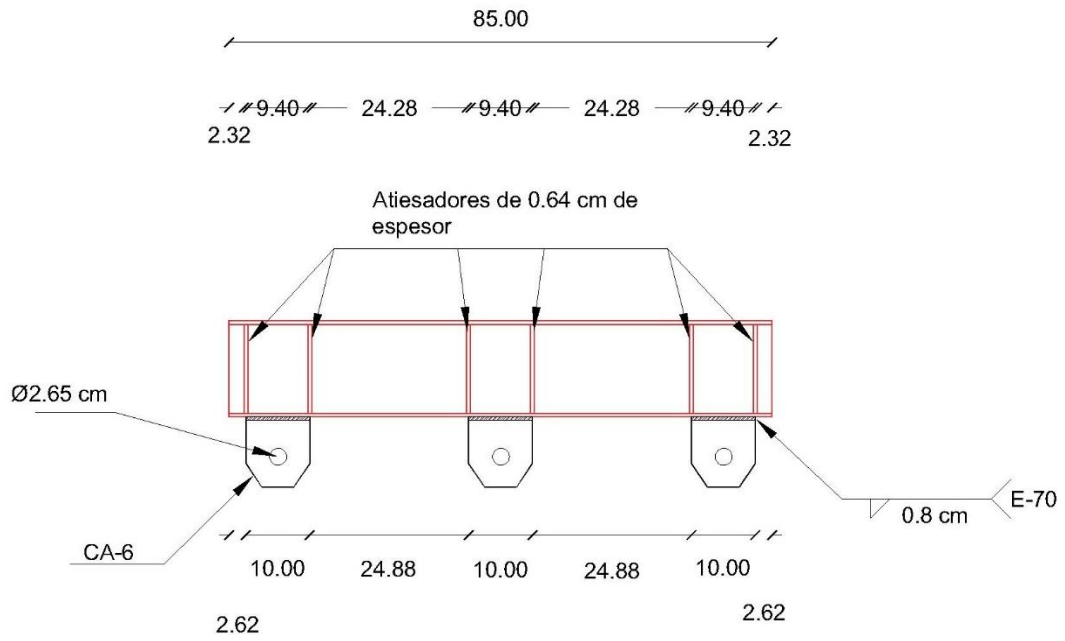


Figura 4.9 Detalles del sistema de carga axial (vista frontal), se omiten detalles de muro por claridad.



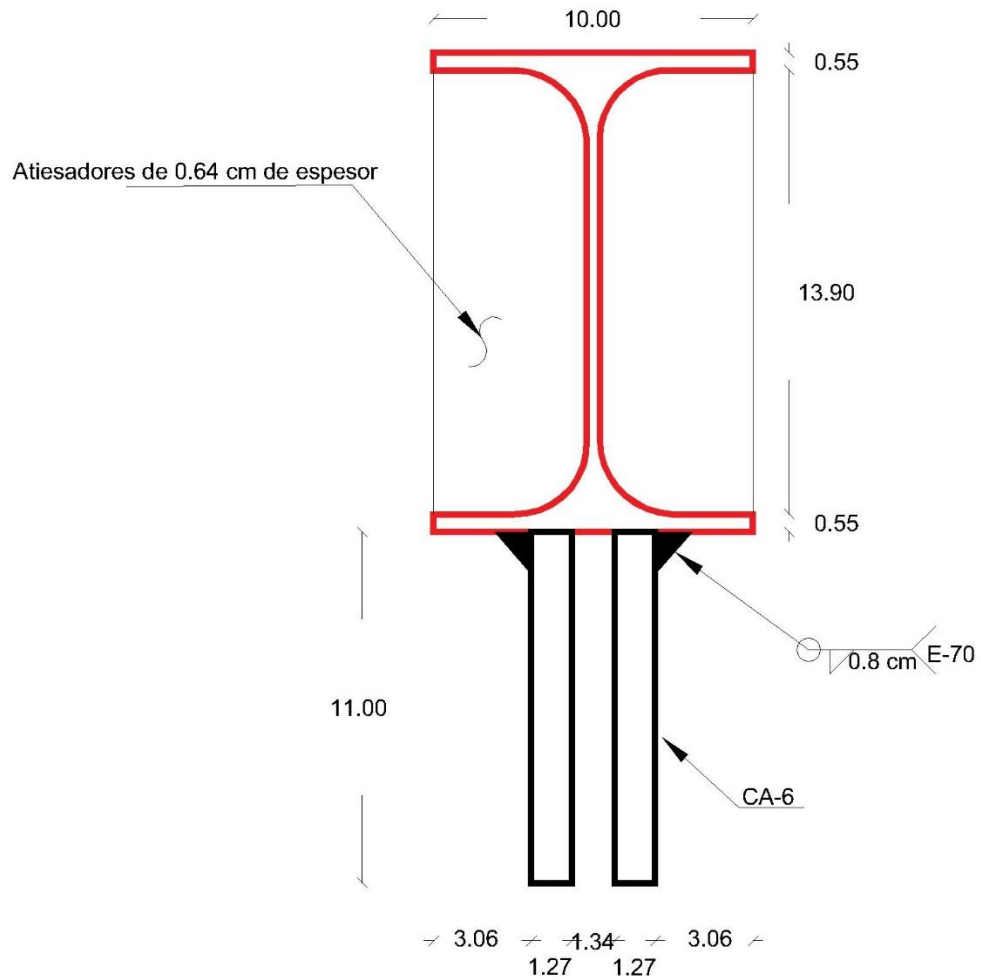
Escala 1:20
Cotas en cm.

Figura 4.10 Detalle del sistema de carga axial (vista lateral).



Esc. 1:10
Cotas en cm.

Figura 4.11 Detalle de viga balancín (vista longitudinal).



Esc. 1:2
Cotas en cm.

Figura 4.12 Detalle de viga balancín (vista transversal).

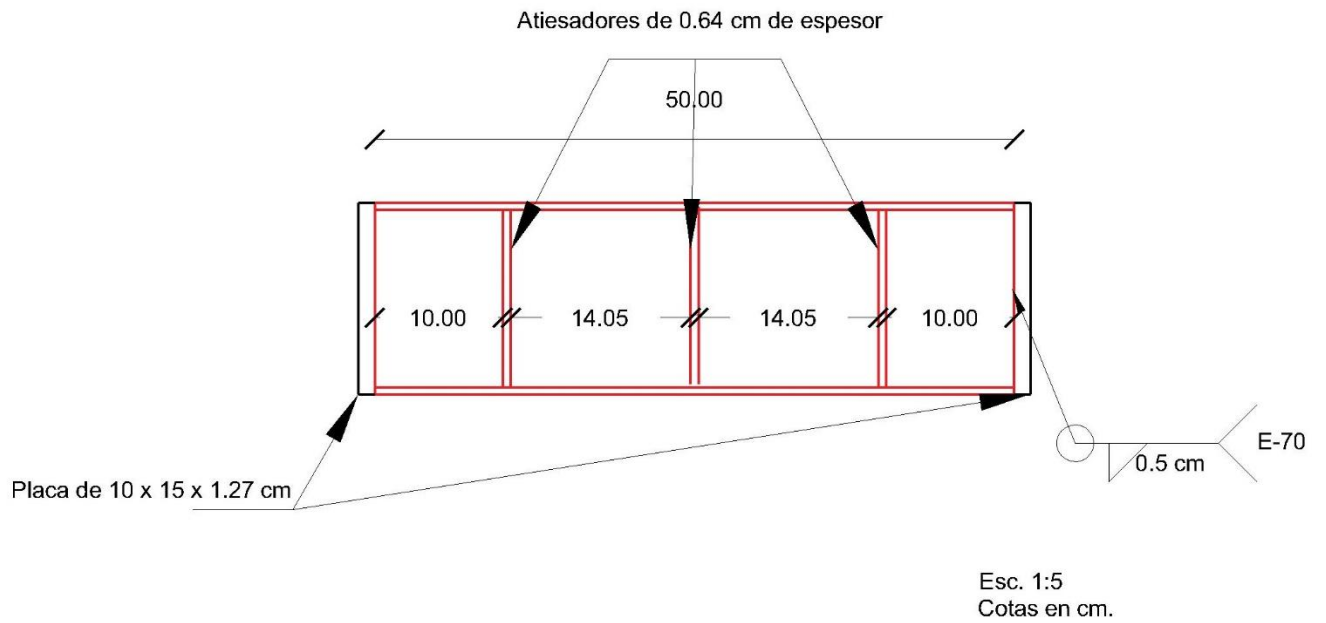


Figura 4.13 Detalle de viga de repartición axial.

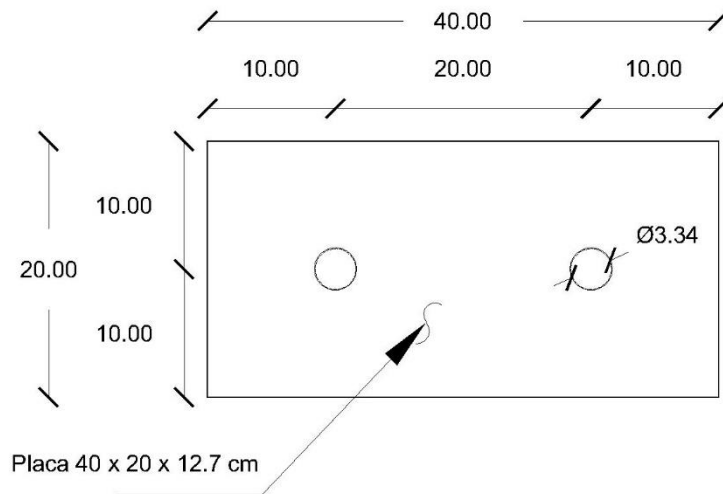


Figura 4.14 Detalle de placa de conexión CA-1

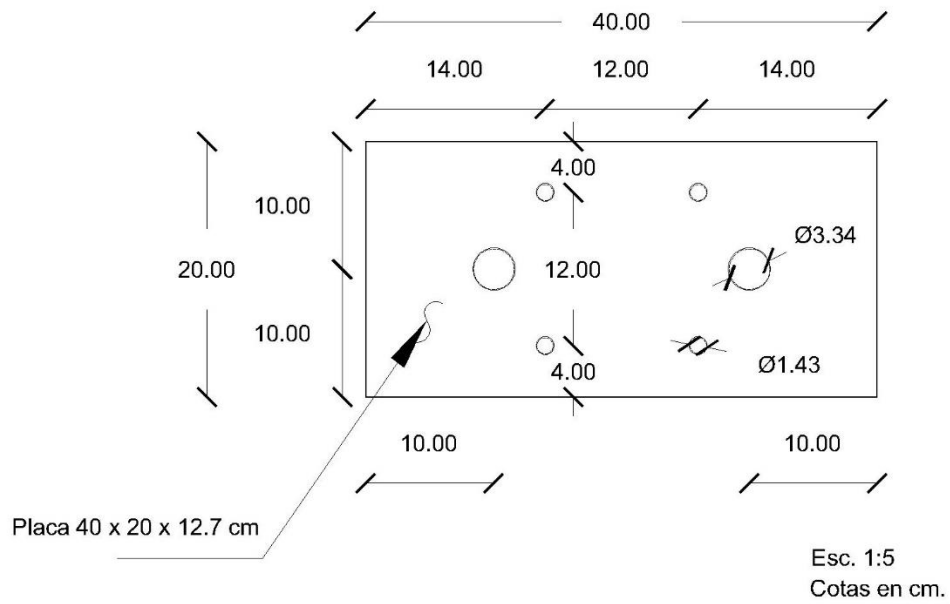


Figura 4.15 Detalle de placa de conexión CA-2

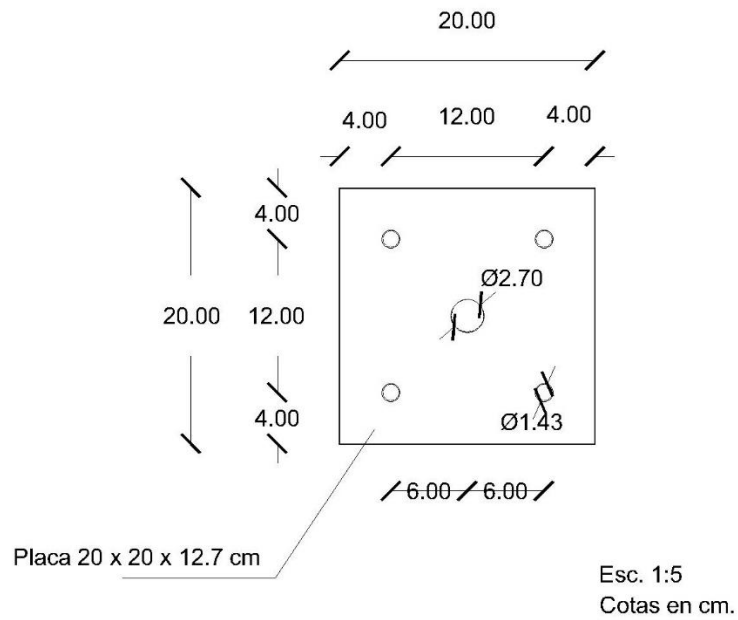
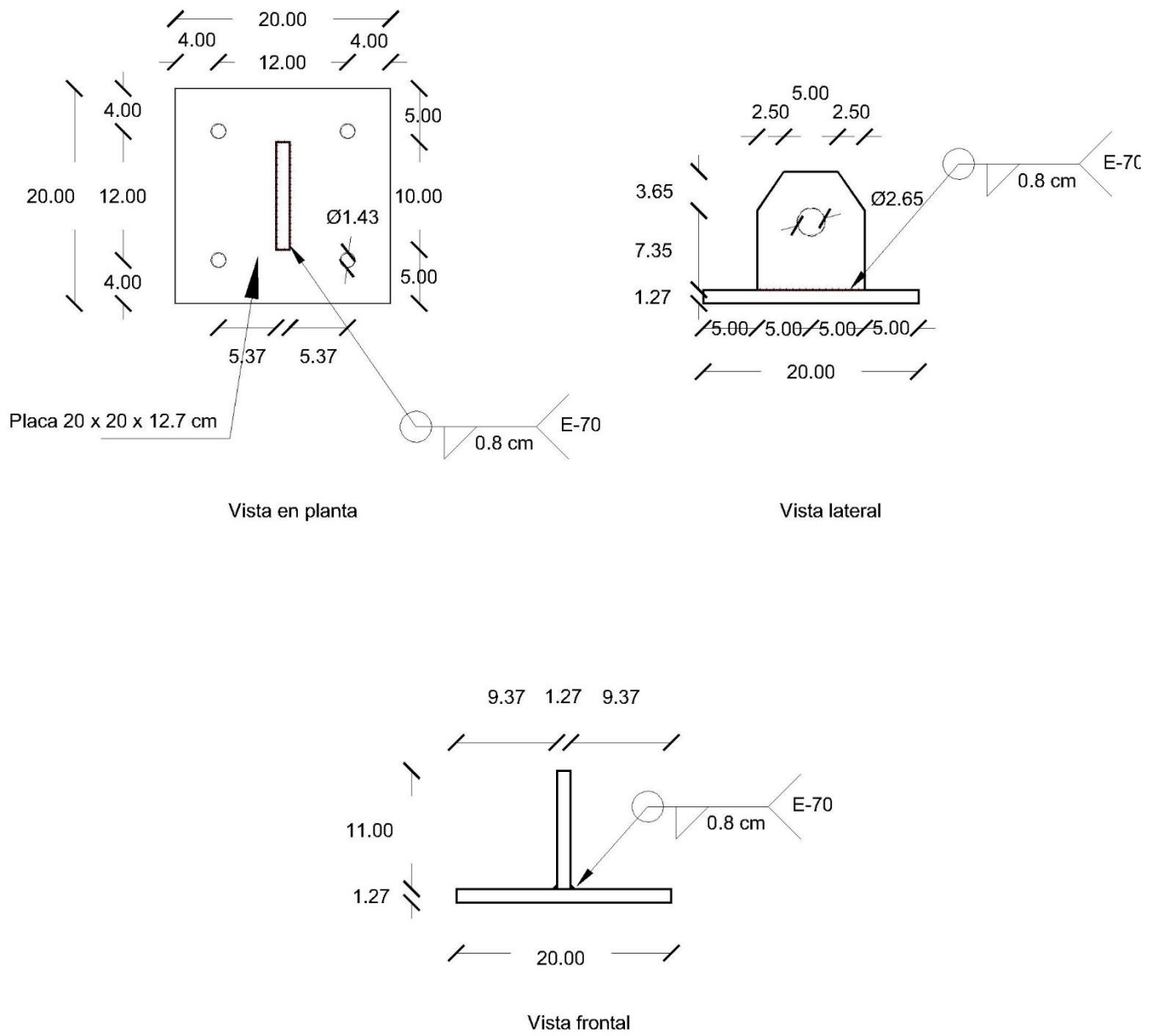
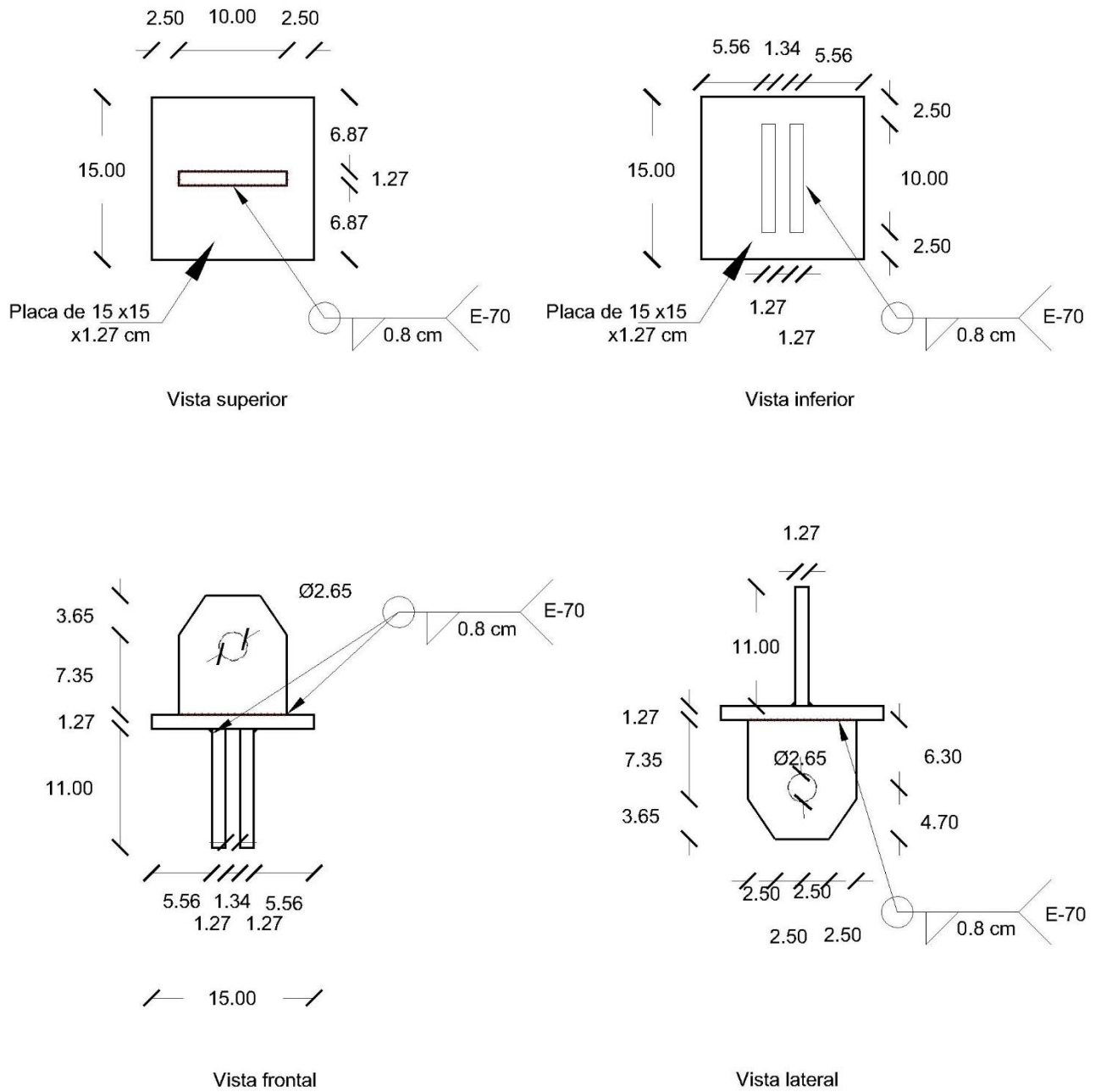


Figura 4.16 Detalle de placa de conexión CA-3.



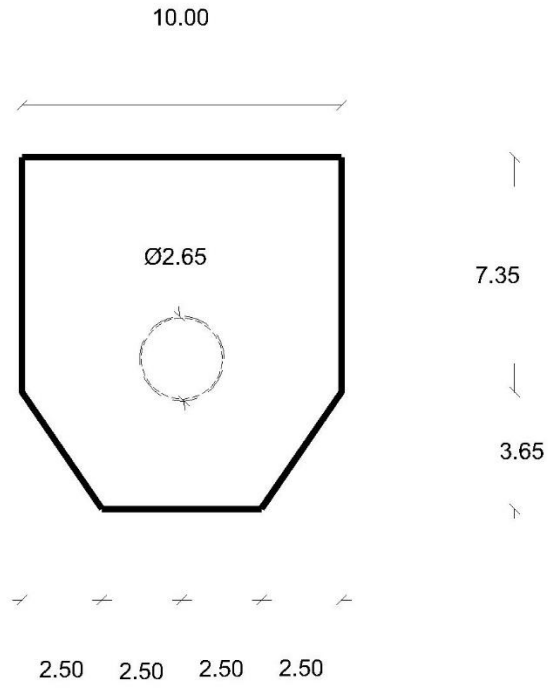
Esc. 1:5
Cotas en cm.

Figura 4.17 Detalle de placa de conexión CA-4.



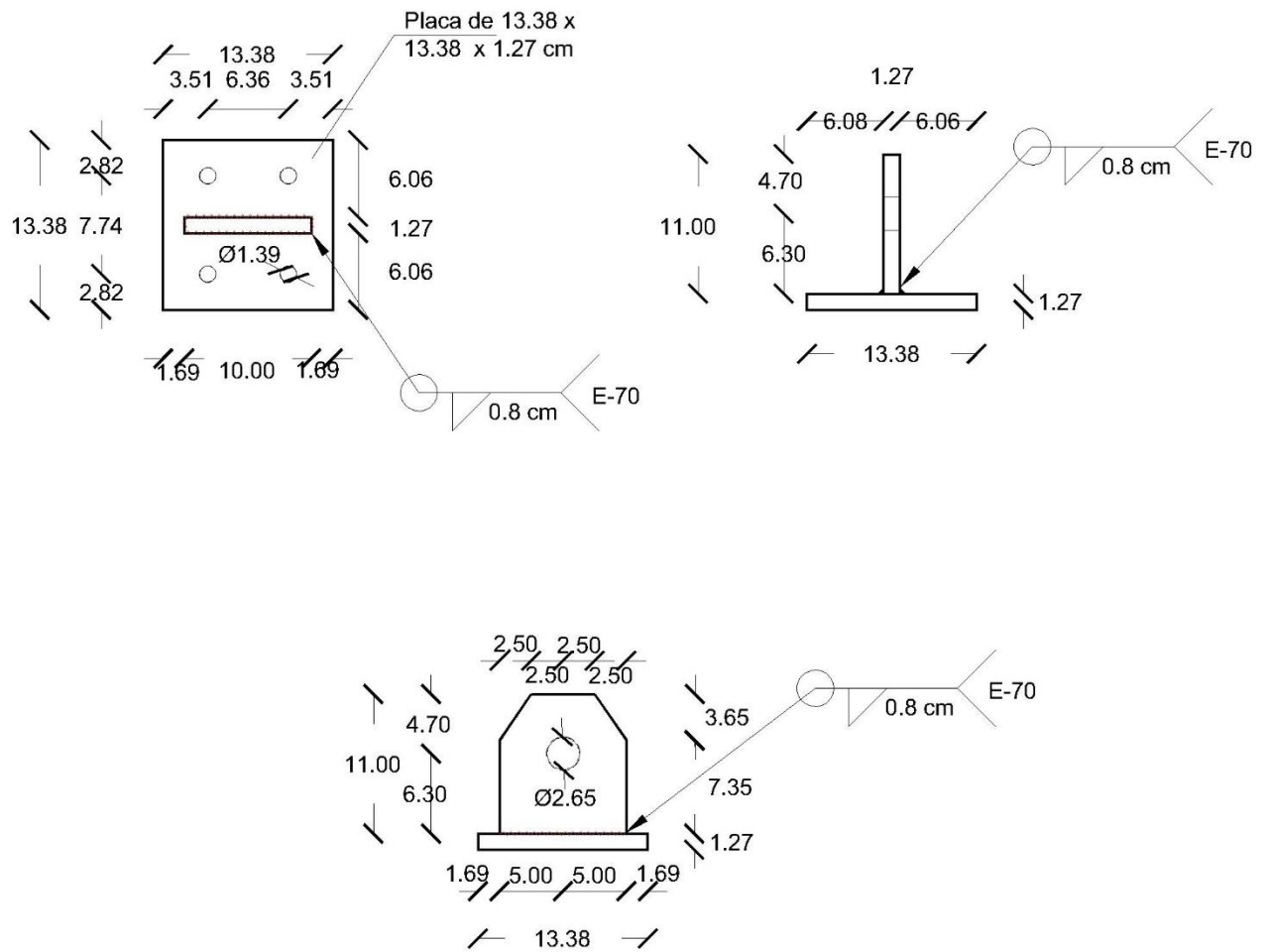
Esc. 1:5

Figura 4.18 Detalles de placa de conexión CA-5



Esc. 1:2
Cotas en cm.

Figura 4.19 Detalle de placa de conexión CA-6.



Esc. 1:5
Cotas en cm.

Figura 4.20 Dellate de placa de conexión CA-7.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

En esta tesis se diseñó y construyó un sistema de carga para el ensaye de muros confinados de CCA sujetos a cargas laterales. Se consideraron muros a escala geométrica 1:2, 1:3 y 1:4. Se utilizaron como muros a escala natural los ensayados por Ricalde (2019). Se consideró que las ecuaciones de resistencia de muros confinados a escala natural son validas para muros a escala reducida.

El sistema de carga está conformado por una losa de reacción móvil, un sistema de carga lateral y un sistema de carga axial. La losa de reacción móvil puede anclarse en diferentes puntos de la losa de reacción de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán. La losa de reacción móvil está formada por una losa y 3 trabes de concreto reforzado. El sistema de carga lateral está formado por dos marcos de carga lateral de acero, una viga de carga lateral de acero y un actuador hidráulico. El marco es capaz de soportar una carga lateral máxima de 3711.59 kg. El sistema de carga axial está formado por una viga balancín de acero, una viga de repartición de carga axial de acero, dos tensores de acero y un actuador hidráulico. El sistema de carga axial es capaz de soportar una carga máxima de 3075.80 kg.

REFERENCIAS

1. AISC – American Institute of Steel Construction (2010). Specification for Structural Steel Buildings. ANSI/AISC 360-10, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
2. ASTM – American Society for Testing and Materials (2017). Standard Specification for Autoclaved Aerated Concrete (AAC), ASTM C1693-11 (2017), ASTM International, West Conshohocken, PA.
3. ASTM – American Society for Testing and Materials (2018). Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar, ASTM C144-18 (2018), ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. Abrams, D. y Paulson T.J. (1991). Modeling Earthquake Response of Concrete Masonry Building Structures. ACI Structural Journal, Vol. 88, No. 4, pp. 475–485.
5. Alcocer, S., Murià Vila, D. y Peña, I. (1999), Comportamiento dinámico de muros de mampostería confinada. Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Serie Investigación y Desarrollo, México.
6. Arias J. (2005), Ensayos en mesa vibradora de un modelo a escala 1:2 de edificio de mampostería confinada de tres niveles. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, México.
7. Barragán R. (2005), Ensayo de una vivienda a escala de dos niveles de mampostería confinada. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, México.
8. Benedetti, D., Carydis, P. y Pezzoli, P. (1998). Shaking table tests on 24 simple masonry buildings, In Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 27, p. 67-90.

9. Bose, S. y Rai D.C. (2014). Behavior of AAC infilled RC frame under lateral loading, In Proceedings of the 10th National Conference in Earthquake Engineering, Anchorage, Alaska, Julio 21-25.
10. Bothara, J.K., Dhakal, R.P. y Mander, J.B. (2010), Seismic performance of an unreinforced masonry building: An experimental investigation, In Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 39. p. 45-68
11. Caccese V y Harris H (1990). Earthquake simulation testing of small-scale reinforced concrete structures. ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 1, pp. 72–79.
12. Costley, A.C., Abrams, D.P. (1996). Dynamic Response of URM Buildings with Flexible Diaphragms, Structural Research Series Report, Civil Engineering Studies, University of Illinois at Urbana-Champaign, October, 272 pp.
13. Egermann R, Cook DA, Anzani A. An investigation into the behaviour of scale model brick walls. Proceedings of the 9th International Brick/Block Masonry Conference; 1991; Berlin; 1991. p. 628-35.
14. Elnashai A, Pinho R y Vaz C (2000). Experimental observations from shaking-table test on selective techniques for repair and strengthening of RC walls. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda. Paper 2245.
15. Fernández, D. (2019) Resistencia a cortante de muros confinados de CCA. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
16. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, “Gaceta Oficial de la Ciudad de México”, México.

17. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, “Gaceta Oficial de la Ciudad de México”, México.
18. GCM – Gobierno de la Ciudad de México (2018). 020. Granulometría de los agregados pétreos. MMP. Métodos de muestreo y pruebas de materiales. 2 Materiales para estructuras. 02 Materiales para Concreto Hidráulico. M MMP 2 02 020/18. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
19. Gokmen, F., Binici, B., Aldemir, A. et al. (2019). Seismic behavior of autoclaved aerated concrete low rise buildings with reinforced wall panels, in Bulletin of Earthquake Engineering 17, p. 3933-3957.
20. Harris, H. G. y Sabnis, G. M. (1999). Structural Modeling and Experimental Techniques, 2ª edición, CRC Press LLC, Florida.
21. Janney, J. R., Breen, J. E., y Geymayer, H. (1970). Use of models in structural engineering, in Models for Concrete Structures, ACI SP-24, American Concrete Institute, Detroit, MI, pp. 1–18.
22. Kwan A.K.H., Xia J.Q. (1995) Shake table tests of large-scale shear wall and infilled frame models. Proceedings of the Institute of Civil Engineers; p. 66-77.
23. Langhaar, H. L. (1951) Dimensional Analysis and Theory of Models, Wiley, New York.
24. Lourenço, P.B., Avila, L., Vasconcelos, G. et al. (2013). Experimental investigation on the seismic performance of masonry buildings using shaking table testing. Bull Earthquake Eng 11, 1157–1190
25. Mohammed A, Hughes T.G. (2011) Prototype and model masonry behavior under different loading conditions. In Materials and Structures 44. p. 53-65
26. Naal, E. (2019) Comportamiento a cortante de muros confinados de cca: evaluación del daño. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.

27. Pinto, J.A. (2018). Comportamiento a cortante de muros de mampostería confinada con baja relación de aspecto sujetos a cargas laterales, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
28. Restrepo-Vélez, L.F., Magenes, G. y Griffith, M.C. (2014) Dry Stone masonry walls in bending – Part I: Static Tests. In International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration, 8:1, p. 1-28.
29. Ricalde, E. (2019) Comportamiento a cortante de muros confinados de cca: desarrollo de modelos de histéresis. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
30. Rodríguez, César. (1994). Los morteros. Control de calidad. Informes de la Construcción. 46. Instituto Eduardo Torroja. España.
31. San Bartolomé, A., Quiun D. y Torrealva D. (1992) Seismic behavior of a three-story half scale confined masonry structure. In Proceedings of the 10th World Conference in Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam, Netherlands, July.
32. San Bartolomé, A., Delgado, E. y Quiun D. (2009) Seismic behavior of a two story model of confined adobe masonry. 11th Canadian Symposium, Toronto, Ontario, May 31- June 3.
33. Sánchez, E. (2017) Comportamiento elástico y plástico del concreto con agregado calizo de alta absorción a edades tempranas. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán, México.
34. Tanner J.E., Varela J.L., Klinger R.E. (2005) Design and Seismic Testing of Two-Story, Full Scale Autoclaved Aerated Concrete Assemblage Specimen. ACI Structural Journal, Volume 102, Issue 1, 114-119, January 1.
35. Tomaževič, M. (1987). Dynamic modelling of masonry buildings: Storey mechanism model as a simple alternative, Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Volume 15, Issue 6. p. 731 -749

36. Tomažević, M. y Modena C. (1988). Seismic behaviour of mixed, reinforced concrete, reinforced masonry structural systems, Brick and Block Masonry, J.W. DeCourcy, Ed., Elsevier Applied Science, London.
37. Tomažević M., Weiss P. (1991) Seismic behaviour of masonry buildings: reinforced versus unreinforced masonry. Proceedings of the 9th International Brick/Block Conference, Berlin; p. 552-9.
38. Tomažević M., Lutman M. y Petkovic L. (1996). Seismic Behaviour of Masonry Walls: Experimental Simulation, Earthquake design and structural dynamics. Vol 26, 1059-1071.
39. Tomažević M. y Klemenc I. (1997). Seismic behavior of confined masonry walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1059 – 1071.
40. Tomažević M. y Gams M. (2012). Shaking table study and modelling of seismic behavior of confined AAC masonry buildings. Bull Earthquake Eng. Volume 10, 863-893.
41. Varela-Rivera J., Fernández-Baqueiro L., Alcocer-Canché R., Ricalde-Jiménez J. y Chim-May R. (2018). Shear and Flexural Behavior of Autoclaved Aerated Concrete Confined Masonry Walls, ACI Structural Journal, Vol. 115, No.5.
42. Vázquez, A. (2005), Ensayo de una vivienda a escala de dos niveles de mampostería confinada. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, México.
43. Xella mexicana. Disponible en <http://www.hebel.mx> Recuperado el 23 de abril de 2020.
44. Yu J., Cao J., Fei T. (2013). Experimental Study on Improving Seismic Behavior of Load-Bearing Masonry Wall Made of Autoclaved Aerated Concrete. Transaction of Tianjin University, Volume 19, Issue 6, 419-424, December.

45. Zhenggang, C., Peng, D. Feng, F. et al. (2017). Cyclic testing and parametric analyses of the fabricated steel frames infilled with autoclaved aerated concrete panels. In Advances in Structural Engineering. Vol 20(4) p. 629 – 640.