



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**RECOMENDACIONES DE MODELADO ESTRUCTURAL
DE MAMPOSTERÍA QUALYTHOME**

TESIS

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA

Con Opción Terminal en Estructuras

Presenta:

Ing. Mario Ariel Altamirano Castillo

Director de tesis: PhD. Juan Pablo Hidalgo Toxqui

Codirector de Tesis: PhD. José Camargo Pérez

Puebla, Pue.

Abril 2023

Oficio de aprobación

Autorización de impresión

“A mi esposa, quien a pesar de las dificultades me apoyo para no rendirme, me lleno de amor y me dio consejo en momentos de incertidumbre “

“A mi madre quien siempre ha sido mi apoyo moral y mi guía en la vida”

“A mi padre que siempre ha sido ejemplo de trabajo duro y perseverancia”

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores del Posgrado de Ingeniería de la BUAP por trasmitirme sus valiosos conocimientos, de manera especial a: Mtra. Ana Elena Posada Sánchez y Dr. José Camargo Pérez.

De manera especial, agradezco al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui por su paciencia y valiosa asesoría durante el desarrollo de esta investigación.

A la empresa Innova Desarrollo y Comercialización S.A. de C.V. por el apoyo al desarrollo de las pruebas y experimentos que dieron base y fundamento a esta investigación.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos y compañeros de maestría que me han apoyado y aconsejado durante este trayecto, de manera especial a: Gabriel Iván Becerra Rodríguez, Ana María López Sánchez y Pablo César Sánchez Rodríguez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	VIII
1. ANTECEDENTES	10
1.1. Antecedentes Históricos de la Mampostería.....	10
1.2. Qué es la mampostería autoensamblable	13
1.3. Cómo se debe construir la mampostería autoensamblable.....	15
2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA AUTOENSAMBLABLE	17
1. Tipos de pruebas de laboratorio.....	17
2. Resistencia a compresión axial de piezas de mampostería	17
3. Prueba de absorción total en piezas de mampostería	19
4. Resistencia a la compresión pura en pilas	21
5. Módulo de elasticidad en pilas	24
6. Resistencia a la compresión diagonal en muretes	25
7. Módulo de cortante en muretes	27
8. Adherencia y resistencia a la compresión de morteros	29
9. Resistencia a compresión de morteros.....	30
3. PROYECTO ARQUITECTÓNICO	34
3.1 Descripción general del Proyecto Arquitectónico.....	35
3.2 Acabados.....	35
3.3 Clasificación Estructural.....	37
4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	38
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

Resumen

En el presente trabajo de investigación se darán pautas y recomendaciones para el modelado y análisis de estructuras de mampostería autoensamblable reforzada interiormente. La finalidad es generar criterios básicos en cuanto al análisis estructural, ya que inicialmente la mampostería es un elemento estructural complicado de modelar. Para lograr este objetivo se construyeron una serie de modelos utilizando el Método de Elemento Finito en los cuales se fue variando su discretización y condiciones de apoyo para poder analizar diferentes resultados que arrojan los modelos y comparar los resultados de cada modelo entres si y de esta manera también dictaminar que modelo arroja resultados que se consideren aceptables para este tipo de estructura.

Abstract

In the present research work, guidelines and recommendations will be given for the modeling and analysis of internally reinforced self-assembling masonry structures. The purpose is to generate basic criteria in terms of structural analysis, since initially the masonry is a complicated structural element to model. To achieve this objective, a series of models were done using the Finite Element Method in which their discretization and support conditions were varied in order to analyze different results that the models return and compare the results of each model among themselves and in this way also dictate which model return results that are considered acceptable for this type of structure.

INTRODUCCIÓN

Qué pasaría si un cambio en la configuración geometría de la pieza de mampostería mejorará su comportamiento a nivel estructural, eso sería muy conveniente para todos los proyectistas de estructuras que tienen como requerimiento diseñar infraestructura de edificación a base de mampostería. Esta mampostería que a partir de ahora llamaremos “autoensamblable” presenta novedosas ventajas durante el proceso constructivo, sin embargo, en cuanto a su desempeño sísmico aún se tiene incertidumbre, por lo que basados en los resultados de ensayos de laboratorio en muros construidos a escala real de mampostería autoensamblable reforzada interiormente se llevara a cabo la implementación de modelaje de esta mampostería para conseguir un comportamiento aceptable, buscando la caracterización de esta en un software comercial.

El objetivo principal es brindar a los ingenieros recomendaciones que ayuden a modelar estructuras de mampostería autoensamblable “QualytHome” que es fabricada por la compañía Innova Desarrollo y Comercialización S.A de C.V. no se revisará la mampostería con fines de diseño, más si el modelado en software, y así de esta manera verificar si las piezas de mampostería autoensamblable se comportan de manera adecuada, esto quiere decir que los esfuerzos y distorsiones entre otros parámetros sean coherentes.

El modelado analítico se llevará a cabo media un programa de cómputo comercial utilizando el Método de Elemento Finito (FEM), para simular los muros de mampostería autoensamblable, se crearán los distintos modelos para el análisis lineal. Los modelos, se idealizan con elemento tipo placa o shell para la mampostería y losas, así como elementos tipo barra para los elementos confinantes de la estructura como castillos y dalas. Con el análisis numérico mediante software se pretende emitir recomendaciones de modelaje para su uso de la mampostería autoensamblable, el refuerzo interiormente estará presente en las características de comportamiento global de los muros de mampostería resultado de las diferentes pruebas echas a las piezas, pilas, muretes y muros a escala real.

Como objetivos específicos se abordan los siguientes puntos:

- Tamaño del mallado de la mampostería autoensamblable.
- Apoyos articulados o empotrados.
- Distribución de los esfuerzos principales con base en la discretización del mallado.
- Comportamiento de la mampostería autoensamblable con dalas de confinamiento.
- Comparativa de esfuerzos.
- Comparativa de distorsiones.

1. ANTECEDENTES

Las edificaciones pueden ser construidas con diferentes materiales, pero uno de los materiales más utilizados que no ha podido ser sustituido, ni por el concreto, ni por el acero y que se utilizó en el pasado y se sigue utilizando hasta nuestros días es la mampostería; la cual, se ha transformado a lo largo del tiempo en relación a los componentes que la constituye y pocas veces ha tenido cambios en su configuración geométrica desde que se comenzó a utilizar, así como, su confinamiento a base de dalas y castillos de concreto reforzado y/o el reforzamiento interno con varillas de acero. La mampostería a pesar de tener ventajas constructivas y económicas, y de no requerir un conocimiento técnico muy exigente, es susceptible a fallar ante las acciones sísmicas, asentamientos diferenciales, la falta de mantenimiento y la erosión (De Castro,2003), de ahí que en el presente trabajo se iniciará con la descripción de un nuevo sistema de mampostería denominado como “Autoensamblable”.

1.1. Antecedentes Históricos de la Mampostería.

La mampostería es el material para construcción por excelencia, ya sea por costumbre o por economía, desde el Homosapiens, quien abandono las cavernas como refugio y comenzó a construirlos con materiales de su entorno como ramas, hojas y rocas; el comenzar a apilar las rocas es donde nació la mampostería. “*Mampuesto*, derivado de mano y puesto; latín: *manus*, mano, y *positura*, asiento; *de ponere*, poner. Sufijo: *ería*, trabajo artesanal. Piedra que se coloca con la mano” (Gómez et. al.; 2019).

El paso después del apilado de rocas fue comenzar a juntar las piezas de mampostería con el mortero a base de arcilla y agua (barro) Figura 1.1, lo cual permitió construir muros más altos y fijar mejor las rocas. (Gallegos & Casabonne, 2005).



Figura 1.1 Detalle de junteo de mampostería a base de rocas no labradas y mortero de arcilla y agua. (Gallegos & Casabonne, 2005).

La fabricación de piezas de mampostería hechas a base de materiales térreos con agua y secados al sol posiblemente ocurrió en lugares donde no había rocas erosionadas de tamaño pequeño o se encontraban cubiertas por grandes estratos de suelo. Un vestigio de este tipo de pieza de barro secada al sol se tiene en las ruinas de Jericó, correspondiente al Neolítico Inferior (Gallegos & Casabonne, 2005).

Fueron los sumerios el primer pueblo de la civilización de Mesopotamia quienes, debido a los escasos de rocas en su entorno, crearon el molde para los adobes, y estos a su vez siendo prismáticos les permitieron una mejor versatilidad para acomodarlos y pegarlos. Tiempo después los mismos sumerios en la ciudad de Ur (3000 a.C.) comenzaron a cocer las piezas de arcilla en hornos, naciendo la versión antiquísima de lo que ahora conocemos como ladrillo de arcilla o cerámico (Gómez et. al.; 2019).

En fechas similares, pero en otras civilizaciones, de igual manera utilizando la materia prima de la región como es el caso de Egipto que utilizó las rocas de montañas labradas, Grecia que realizó estructuras artísticas a base de macizos de mármol y China con la inamovible Muralla China, la cual fue construida a base de piedras labradas con forma prismática. Roma tiene una mención especial ya que utilizó la piedra caliza, tufa

volcánica, travertino y piezas de arcilla cocidas como los sumerios, pero con la diferencia que comenzaron a utilizar morteros aglutinantes, arcilla mezclada con la puzolana o cenizas volcánicas en este caso del volcán de Pozzuoli y cal, y que al combinarlo con agregados gruesos y agua también dieron lugar a lo que hoy se conoce como concreto.

Después de la caída del Imperio Romano en el siglo V d.C. la mampostería a base de ladrillos fue uno de los legados que logró sobrevivir y se extendió desde el Norte de Italia hacia el Noroeste de Alemania y Países Bajos. Para el siglo XIV la mampostería ya había llegado a Gran Bretaña, para Londres y otros países de Europa occidental fueron obligados a cambiar sus sistemas constructivos de madera por la mampostería de piedra o ladrillo, ya que los constantes incendios que destruían por completo las edificaciones hasta los cimientos.

Las culturas mesoamericanas también lograron el sistema constructivo de mampostería a base de piezas de roca natural y fabricada, además, también llegaron a descubrir las propiedades aglutinantes del nejayote que es el agua residual del proceso de nixtamalización del maíz, la ceniza volcánica y las arcillas calcinadas finamente molidas, que mezclaron con la arcilla, cal y agua para formar los morteros con el que pegaban las piezas de mampostería.

Culturas como las mayas y totonacas, se hicieron del concreto en forma similar a los Romanos, pero sin tener influencia de ellos. Los mayas basaban sus estructuras en tres miembros, las rocas, los cementantes y los soportes de madera; además de desarrollar el sistema de bóveda o arco falso. Los mayas en la región de Comalcalco debido a la carencia de rocas naturales desarrollaron piezas de mampostería de arcilla cocida muy parecida a la actual.

Aunque la mampostería se dice que fue traída por los europeos a América, ésta ya había sido utilizada por los mayas de Comalcalco (Gómez et. al.; 2019).

Sabiendo de antemano que la mampostería ya sea por cuestión de costos o tradición es uno de los materiales más utilizados en para la construcción por lo que la mampostería común y nuestros sistemas constructivos que la involucre deben ser analizados para que se pueda construir con seguridad.

1.2. Qué es la mampostería autoensamblable.

La mampostería autoensamblable está constituida por piezas a base de arena, cemento y tepetzil con forma de prisma rectangular y se considera como una pieza de block hueca, dicha pieza posee tres celdas circulares para la colocación del refuerzo interior, y por la parte superior de estas sobresalen 3 protuberancias que denominaremos ensamble macho y en su parte inferior posee 3 concavidades que llamaremos ensamble hembra, ambos ensambles generan el autoensamblado o machihembrado, además en los laterales de la pieza posee 2 machimbres de media caña que igualmente generan un autoensamble, estas uniones físicas colaboran para dar una adherencia mecánica adicional a la que provee el mortero con el que son pegadas comúnmente las piezas de mampostería como se muestra en la Figura 1.2. También, pensando en mejorar el proceso constructivo se complementa la pieza de 3 machimbres con la pieza de 1 y 2 machimbres la cual permite mitigar los desperdicios en las terminaciones de los muros como se muestra en la Figura 1.3 y Figura 1.4.



Figura 1.2 Block ensamblable de 3 machimbres. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.



Figura 1.3 Block ensamblable de 1 machambre. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.

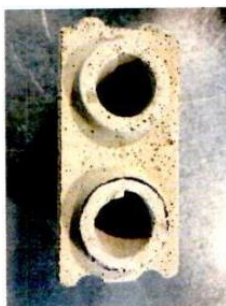


Figura 1.4 Block ensamblable de 2 machimbres. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QvalytHome, 2019.

Las dimensiones geométricas estándar de las piezas de 3 machimbres de mampostería autoensamblable se generalizan a las piezas de 1 y 2 machimbres, la nomenclatura de estas vienes indicadas en los esquemas de la Figura 1.5.

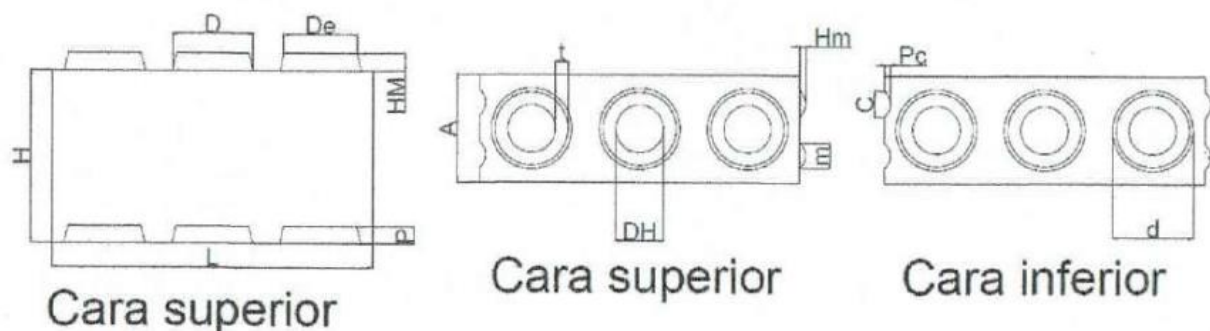


Figura 1.5 Nomenclatura de las dimensiones estándar de la pieza de 3 machimbres. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QvalytHome, 2019.

Las dimensiones fueron utilizadas en las diferentes pruebas para la obtención de las propiedades mecánicas tanto de las piezas, así como, de los muros a escala real, dichas pruebas se explicarán brevemente en el siguiente capítulo, en la Tabla 1.1 se presentan las dimensiones.

<i>Dimensión</i>	<i>(cm)</i>
<i>H:</i>	<i>20.1</i>
<i>L:</i>	<i>37.2</i>
<i>A:</i>	<i>12.6</i>
<i>HM:</i>	<i>1.9</i>
<i>D:</i>	<i>9.4</i>
<i>De:</i>	<i>8.5</i>
<i>P:</i>	<i>2.2</i>
<i>d:</i>	<i>9.6</i>
<i>m:</i>	<i>2.9</i>
<i>Hm:</i>	<i>1.1</i>
<i>C:</i>	<i>3.0</i>
<i>Pc:</i>	<i>1</i>
<i>t:</i>	<i>1.4</i>
<i>DH:</i>	<i>5.6</i>

Tabla 1.1 Nomenclatura de las dimensiones estándar de la pieza de 3 machimbres. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.

1.3. Cómo se debe construir la mampostería autoensamblable.

La mampostería autoensamblable o con machihembrado no cuenta aún con alguna reglamentación nacional que rija su diseño y construcción si no recomendaciones del fabricante, por lo que nos basaremos en el Reporte técnico para la determinación del proceso constructivo y resistencia de muretes del sistema QualytHome, 2019, así como las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería para su diseño estructural, haciendo énfasis en el capítulo 6, ya que se considera Mampostería Reforzada Interiormente (MRI) debido a que sus piezas son huecas y posee celdas, está no presenta castillos externos de concreto reforzado para su confinamiento, sino que, deberá ser confinada y reforzada mediante barras de acero vertical que se colocan dentro de las celdas y estas serán rellenas con concreto con base en el inciso 6.1.3 de las NTC, tanto la ubicación y separación del refuerzo horizontal y vertical se deberá realizar conforme a las indicaciones y figuras del inciso 6.1.2 y 6.1.2.1. La cuantía necesaria de acero de refuerzo, tanto para el refuerzo vertical como horizontal deberá ser calculada conforme a lo indicado en el inciso 6.1.1 de las NTC.

Los muros también deberán ser confinados en su extremo inferior mediante dalas de desplante o algún otro elemento como trabes de liga o zapatas corridas de concreto reforzado, y en su extremo superior este podrá ser confinado para continuar con el muro o para recibir el sistema de piso por un elemento de concreto reforzado con un espesor no menor a 100 mm como son las dalas de cerramiento o trabes de concreto. Además, todos los muros en las esquinas o puntos donde se intercepten con otros muros deberán colocarse dos celdas reforzadas verticalmente continuas, como se indica en el apartado 6.1.2.2 y 6.1.5 de las NTC.

El mortero con el que se pegaran las piezas de mampostería autoensamblable deberá hacerse con el aditivo UNIBLOCK. El mortero deberá aplicarse en todo el junteo vertical y horizontal, esto nos permitirá desarrollar proyectos de hasta 5 niveles. Las recomendaciones constructivas fueron basadas en las NTC y el Reporte Técnico para la determinación del Proceso Constructivo y resistencia de Muretes de Mampostería, 2019, en el cual se realizaron pruebas al Sistema Constructivo QualytHome, fabricado por INNOVA DESARROLLO Y COMERCIALIZACIÓN S.A. de C.V. empresa dedicada a producción de prefabricados y construcción de estructuras habitacionales y por el personal del Laboratorio de Estructuras del Laboratorio Integral de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), bajo el convenio de colaboración INNOVA-BUAP.

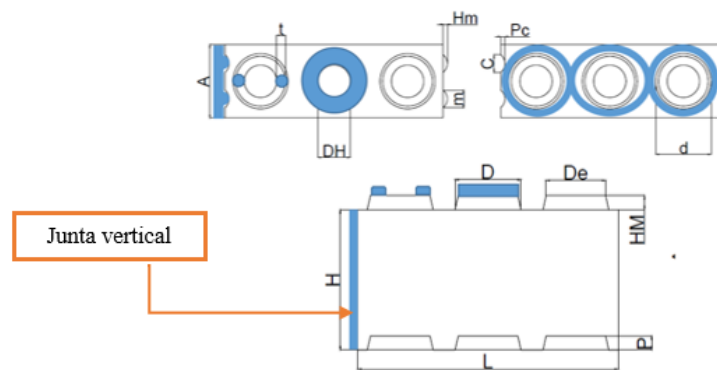


Figura 1.5 Proceso de pegado de block con mortero. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.

2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE DISEÑO DE LA MAMPOSTERÍA AUTOENSAMBLABLE.

En este capítulo se dará una breve explicación de las pruebas basadas en las NTC del proceso de cómo se obtuvieron las propiedades mecánicas de diseño y cuáles son los valores que tomaron, que más adelante utilizaremos para los modelos analíticos en software y las revisiones estructurales.

1. Tipos de pruebas de laboratorio.

Las diferentes pruebas que se realizaron tanto a la pieza, pila, murete o muros a escala real para obtener las propiedades mecánicas de diseño, fueron las siguientes: resistencia a compresión axial de piezas de mampostería, resistencia a la compresión pura en pilas, módulo de elasticidad en pilas, prueba de absorción total de agua, resistencia a la compresión diagonal en muretes, adherencia y resistencia a la compresión de morteros y por último la prueba de cargas laterales reversibles a muros a escala real.

Las propiedades mecánicas para aplicarlas al diseño estructural y cómo obtenerlas, se explican a continuación:

2. Resistencia a compresión axial de piezas de mampostería

La resistencia a compresión axial simple de las piezas de mampostería f_p^* para fines estructurales se considera una de las propiedades más importantes. La prueba se realiza mediante un ensaye uniaxial a una pieza completa o media pieza y de esa manera conocer el esfuerzo último a compresión al que puede someterse la pieza de mampostería medido sobre su área bruta como se muestra en la Figura 2.1, para que las piezas de mampostería autoensamblable puedan considerarse para uso estructural esta deberá cumplir con lo especificado en la norma mexicana NMX-C-036-ONCCE-2013.

$$\bar{f}_p = \frac{\sum P}{Ne} \quad \dots Ecu. 1$$

Donde:

\bar{f}_p = Resistencia promedio a compresión de las piezas, referida al área bruta, en kg/cm².

P = Carga máxima aplicada en kg.

At = Área total de la superficie de aplicación de la carga, cm².

Ne = Número de ensayos.

La pieza que se ensayo fue de tres machimbres y en las pruebas subsecuentes, ya que es la pieza principal que constituye los muros de carga; la pieza fue cabeceada con azufre y cenizas volantes en ambas caras en las que se aplicaría la carga, además se colocó una placa de espesor de una pulgada en la prensa para mejorar la distribución de carga en la pieza, la velocidad de aplicación de la carga fue de 1180 kg/s. El valor promedio de los 25 ensayos realizados a la pieza se fijó en $\bar{f}_p = 91.95$ kg/cm² y el coeficiente de variación calculado fue de $C_p = 0.37$, el cual es mayor al $C_p = 0.2$ estipulado por la NTC, por lo que optaremos en utilizar lo estipulado por la norma, ya que no se cumplen con los 30 ensayos mínimos, de esta manera el valor de la resistencia a la compresión axial simple se fija en $f_p^* = 61.3$ kg/cm², dicho valor fue calculado con base en la Ecu.2

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5C_p} \quad \dots Ecu. 2$$

f_p^* = Resistencia de diseño a compresión de las piezas, en kg/cm².

\bar{f}_p = Resistencia promedio a compresión de las piezas, referida al área bruta, en Kg/cm².

C_p = Coeficiente de variación.



Figura 2.1 Prueba a compresión axial simple de una pieza de mampostería. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QuallytHome, 2019.

3. Prueba de absorción total en piezas de mampostería

Es una propiedad de cualquier pieza de mampostería, la cual, consiste en conocer la cantidad máxima de agua que puede absorber la pieza hasta llegar a su grado de saturación, esta propiedad está ligada a su permeabilidad que nos indica la cantidad de agua que puede atravesar las paredes o el volumen de la pieza. La prueba consiste en sumergir al menos 3 piezas durante un lapso de 24 horas en agua potable con temperatura entre 17-23°C, Figura 2.2, la relación de volumen de agua absorbida entre volumen aparente de la pieza excluye el volumen muerto de las celdas de la pieza, al retirar las piezas se debe secar con un paño el exceso de agua superficial de las caras y dentro de las celdas. Se recomienda que la pieza tenga bajo porcentaje de absorción de agua, ya que esto induce a que la pieza no robe agua del mortero o concreto de relleno cuando se está construyendo el muro, de no ser así que la pieza absorba el agua del mortero o concreto reduce la adherencia y origina fisuras propiciando un agrietamiento futuro y desprendimiento de las piezas que formen el muro, la prueba de absorción se basa en la norma NMX-C-037-ONCCE-2013.

La absorción inicial o succión es la cantidad de agua entre el tiempo que puede absorber una pieza al ponerse en contacto con esta por capilaridad, la pieza deberá colocarse

durante 10 min en un espejo de agua que solo cubra 5 mm de su altura, esta relación se mide en g/m (gramos por minuto). La absorción máxima y la succión no tienen una relación como tal, pero una baja succión también es un indicador para una buena adherencia. En el caso de las piezas de mampostería de concreto se deben evitar aquellas con alta succión, ya que a diferencia de las piezas de mampostería de arcilla este índice de succión no puede ser compensado hidratando las piezas antes de su colocación, ya que esto generaría contracción por secado en las piezas de concreto. (Gómez et. al.; 2019)



Figura 2.2 Esquema de la prueba de absorción total, NMX-C-037-ONCCE-2013.

Para la pieza autoensamblable se llegó a un promedio aritmético de los tres ensayos de absorción total de 25.45 %, los resultados de los ensayos se muestran en la Figura 2.3, y se recomienda una succión de 5 g/m para piezas de concreto (Gómez et. al.; 2019).

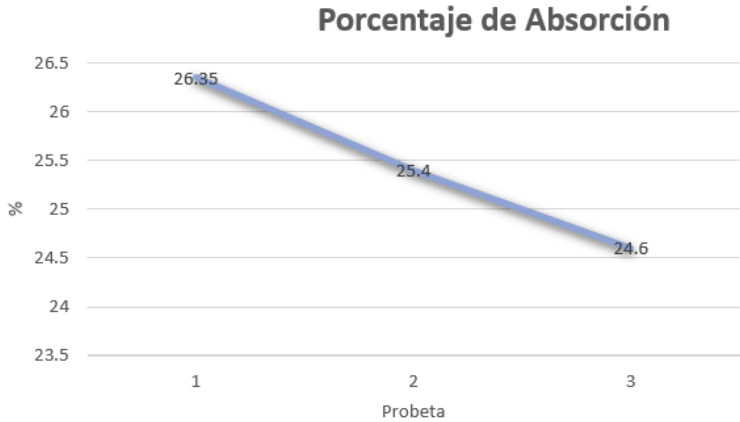


Figura 2.3 Resultados de las pruebas de absorción total. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualityHome, 2019.

4. Resistencia a la compresión pura en pilas

Las cargas a las que está expuesta la mampostería la mayor parte de su vida son a cargas gravitacionales, por lo que una propiedad que debemos conocer es la resistencia compresión axial de la mampostería.

El procedimiento para poder obtener esta propiedad consiste en construir una pila con al menos 3 piezas Figura 2.4 y mortero los cuales se ocuparán para la construcción del proyecto, la relación altura-espesor deberá estar entre 2 a 6 y esta pila deberá ensayarse en la prensa a los 28 días de edad, se aplicará carga hasta llevarla a su falla. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010, salvo lo que se indique en las NTC que difiera de esta.

El cabeceo para las piezas autoensamblables se realizó mediante placas de neopreno y azufre, además en el machimbrado inferior y superior se colocó un machimbre de relleno de acero y calzas de acero que embonaran en el machimbrado respectivamente para posteriormente cabecear con azufre y colocar el neopreno Figura 2.5.

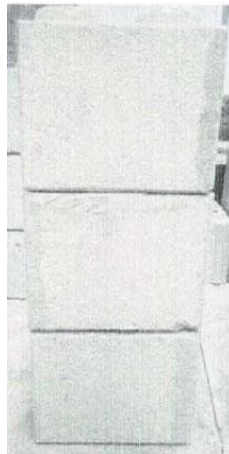


Figura 2.4 Pila para prueba de compresión axial a base de piezas autoensamblables de 2 machimbres. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.

Las pilas se ensayaron a una velocidad de aplicación de carga de 120 kg/s en una prensa como se ejemplifica en la Figura 2.6. Los especímenes construidos con diferentes morteros, aditivos y formas de construcción fueron ensayados y sus resultados del esfuerzo a compresión axial sobre el área bruta se reflejan en la Tabla 1.2.

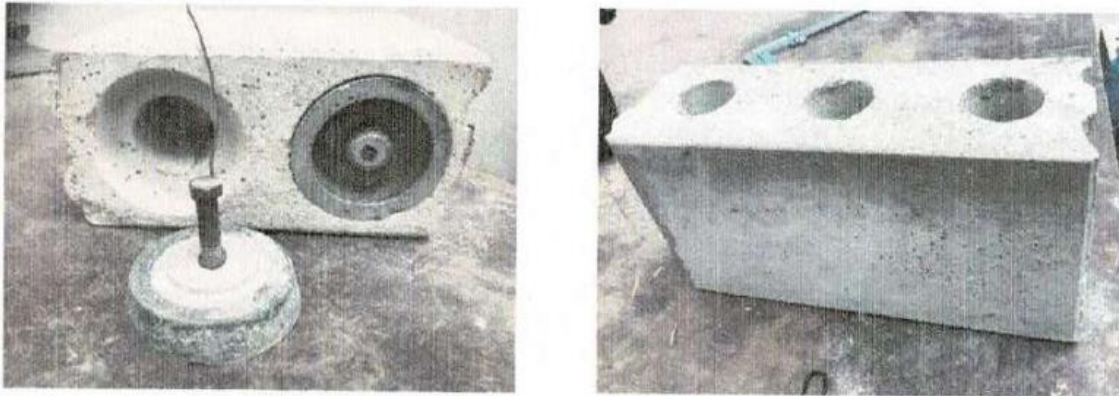


Figura 2.5 Machimbre de embone de acero para le machimbrado inferior y recorte del machihembrado superior para posterior cabeceo con azufre. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.

Para la obtención del coeficiente de variación se consideraron todos los resultados de los ensayos realizados y el valor obtenido fue el siguiente $C_m=0.23$, el cual es mayor al $C_m=0.2$ estipulado por la NTC, por lo que optaremos por utilizar el de la norma. De esta manera el valor de la resistencia a la compresión axial media se fija en $\bar{f}_m = 80.9 \text{ kg/cm}^2$ calculado con base en la Ecu.3.

$$\bar{f}_m = \frac{\sum \frac{P}{A_t}}{N_e} \quad \dots \text{Ecu. 3}$$

Donde:

\bar{f}_m = Resistencia promedio a compresión de las pilas, referida al área bruta, en kg/cm^2 .

P = Carga máxima aplicada en kg.

A_t = Área bruta de la superficie de aplicación de la carga, cm^2 .

N_e = Número de ensayos.

La resistencia a compresión simple de diseño se obtiene con base en la Ecu.4 utilizando la resistencia a compresión media y el coeficiente de variación que estipula las NTC, este valor fue fijado en $f_m' = 56.62 \text{ kg/cm}^2$, aplicando el factor de corrección debido a su relación ancho espesor de 5 el cual nos da un factor de 1.05 según las NTC. La resistencia obtenida es mayor a la resistencia mínima de diseño estipulada por las NTC que es de 15 kg/cm^2 .

$$f_m' = \frac{\overline{f_m}}{1 + 2.5C_m} \quad \dots \text{Ecu. 4}$$

Donde:

f_m' = Resistencia de diseño a compresión de las piezas, en kg/cm^2 .

$\overline{f_m}$ = Resistencia promedio a compresión de las pilas, referida al área bruta, en kg/cm^2 .

C_m = Coeficiente de variación, que nunca se tomara menor a 0.15.

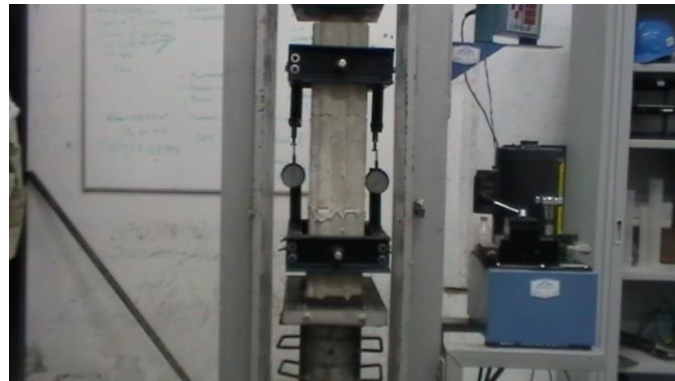


Figura 2.6 Prensa para prueba de compresión axial de pilas. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, 2019.

<i>Tipo</i>	<i>Nombre</i>	<i>Resistencia a la compresión (kg/cm²)</i>
1P	<i>Pila de Block de dos machimbres con UNIBLOCK</i>	103.4
		100.75
		100.53
		94.35
3P	<i>Pila de Block de todo el machimbres con UNIBLOCK</i>	89.05
		106.98
		86.90
		105.41
4P	<i>Pila de Block de todo el machimbres con mortero estructural</i>	67.91
		58.51
		79.28
		74.1
5P	<i>Pila de Block de todo el machimbres con mortero fino</i>	60.51
		68.85
		70.94
6P	<i>Pila de Block de todo el machimbres con mortero de arena sílice.</i>	86.66
		52.58
		52.21

Tabla 1.2 Resultados de los esfuerzos a compresión simple de las pilas ensayadas construidas con piezas de 2 machimbres, de acuerdo con el tipo de mortero. Determinación del proceso constructivo y resistencia de muretes de mampostería tipo QualytHome, 2019.

5. Módulo de elasticidad en pilas

Este parámetro se obtiene mediante pruebas experimentales y para esta se construyeron 3 pilas como similares a las de las pruebas de compresión axial, pegadas con mortero, aditivo y siguiendo el procedimiento antes descrito en el Capítulo 1. En la elaboración, proceso constructivo, transporte, almacenamiento, procedimiento de ensaye y obtención de resultados se siguió la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010.

El cabeceo para las piezas autoensamblables se realizó mediante placas de neopreno y azufre, además en el machimbrado inferior y superior se colocó un machimbre de relleno de acero y calzas de acero que embonaran en el machimbrado respectivamente para posteriormente cabecear con azufre y colocar el neopreno. Las pilas se ensayaron a una velocidad de aplicación de carga de 120 kg/s, al aplicar la carga con la prensa también se fue midiendo la relación entre el esfuerzo y la deformación de cada una de las pilas ensayadas. En la Figura 2.7 se muestra gráficamente la variación del esfuerzo-

deformación de las pilas, al culminar la prueba se determinó que el módulo de elasticidad promedio se estableció en $E_m = 46,625 \text{ kg/cm}^2$.

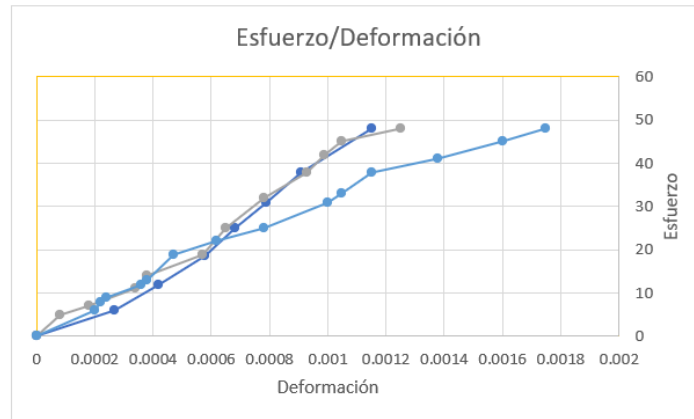


Figura 2.5 Esfuerzo-deformación de las pilas de mampostería autoensamblable. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.

El módulo de elasticidad se calcula mediante la Ecu.5, que es la pendiente de una recta secante a la curva de esfuerzo deformación (Gómez et. al.; 2019):

$$E_m = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad \dots \text{Ecu. 5}$$

Donde:

E_m = Módulo de elasticidad de la mampostería, en kg/cm^2 .

σ_1 = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005.

σ_2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de la resistencia a compresión de la mampostería (pila).

ε_1 = Deformación unitaria con valor de 0.00005.

ε_2 = Deformación unitaria correspondiente al valor del σ_2 .

6. Resistencia a la compresión diagonal en muretes

Los muros en ocasiones son sometidos a esfuerzos de tensión diagonal, esto es provocado por cargas laterales provocadas por los sismos, asentamientos diferenciales o una distribución no uniforme de carga gravitacional. El modo de falla de este esfuerzo

se caracteriza por definir en el plano del muro grietas sensiblemente diagonales (Gómez et. al.; 2019).

Los muretes tendrán una longitud de al menos una vez y media la longitud de la pieza y el número de hiladas necesario para que la altura sea aproximadamente igual a la longitud Figura 2.6. Los muretes se ensayarán sometiéndolos a una carga de compresión monótona a lo largo de su diagonal y el esfuerzo cortante medio se determinará dividiendo la carga máxima entre el área bruta del murete medida sobre la misma diagonal.

Los muretes se ensayarán a la edad de 28 días. En la elaboración, curado, transporte, almacenamiento, cabeceado y procedimiento de ensaye de los especímenes se seguirá la norma mexicana NMX-C-464-ONNCCE-2010 salvo lo que se indique otro procedimiento en las NTC. La determinación se hará en un mínimo de nueve muretes construidos con piezas provenientes de por lo menos tres lotes diferentes del mismo producto, cada murete debe usar piezas del mismo lote.

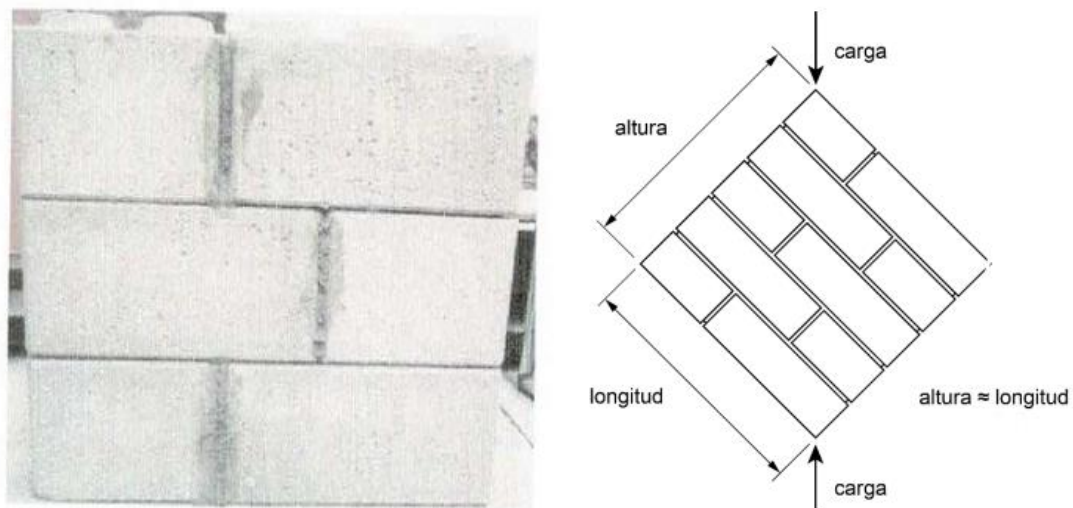


Figura 2.6 Murete para prueba de compresión diagonal, muerte de mampostería autoensamblable y esquema de las NTC. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualityHome,2019.

La resistencia a compresión diagonal para diseño, v'_m , será calculada con base en la Ecu. 6:

$$v'm = \frac{\overline{vm}}{1 + 2.5C_v} \quad \dots Ecu. 6$$

Donde:

$v'm$ = Resistencia de diseño a compresión diagonal, en kg/cm².

\overline{vm} = Resistencia promedio a compresión diagonal, referida al área bruta medida a lo largo de la diagonal paralela a la carga, en kg/cm².

C_v = Coeficiente de variación, que nunca se tomara menor a 0.20.

El cabeceo se realizó mediante cabezales de acero de 10 cm de longitud de arista y un espesor de 19 mm, al cabezal se le colocó una placa de neopreno y la aplicación de la carga a los muretes fue de 25 kg/s en todos los ensayos. Para poder aplicar la carga correctamente el machimbre superior tuvo que ser cortado para la colocar correctamente los cabezales en las aristas del murete.

El promedio de los ensayos dio como resultado una resistencia de diseño de $v'm = 4.81$ kg/cm² valor que supera lo estipulado en las NTC. El coeficiente de variación fue el estipulado en las NTC con un valor de $C_v=0.2$.

7. Módulo de cortante en muretes

Es una medida de rigidez a cortante de la mampostería, debe notarse que su obtención mediante ensayos experimentales está sujeta a una gran variabilidad, debido a que el primer agrietamiento se da ante deformaciones muy pequeñas.

Por lo que se acordó calcular este parámetro mediante la recta secante a la curva esfuerzo deformación Figura 2.7, definida por la Ecu.7 (Gómez et. al.; 2019).

$$G_m = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\gamma_2 - 0.00005} \quad \dots Ecu. 7$$

Donde:

G_m = Módulo de cortante de la mampostería, en kg/cm².

$\overline{\tau_1}$ = Esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de 0.00005.

τ_2 =Esfuerzo correspondiente al 40% de la resistencia a compresión de la mampostería (pila).

γ_1 = Deformación unitaria con valor de 0.00005.

γ_2 = Deformación unitaria correspondiente al valor del τ_2 .

En la Figura 2.8 se muestra gráficamente la variación del esfuerzo-deformación de los muretes ensayados a los cuales se les colocaron micrómetros de caratula Figura 2.9 que fueron midiendo las deformaciones con base en la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010, al culminar las pruebas se determinó que el módulo de cortante se estableció en $G_m = 12,561 \text{ kg/cm}^2$.

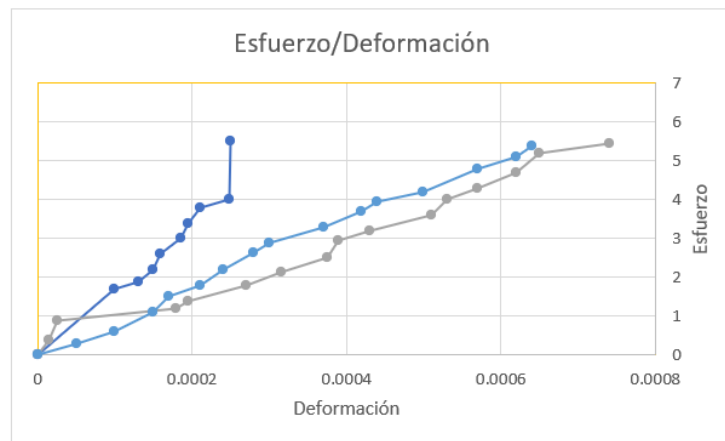


Figura 2.8 Gráfica esfuerzo deformación de las tres probetas ensayadas para la obtención del Módulo de Cortante de la mampostería. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.



Figura 2.9 Instrumentación de muretes de la mampostería con micrómetros de caratula. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.

La relación entre el módulo de rigidez a cortante y el módulo de elasticidad calculados experimentalmente varían entre 0.1 y 0.3, lo cual es menor considerando un comportamiento elástico en un material isotrópico, por lo cual la mampostería no cumpliría como un material isotrópico, ya que esta relación su valor mínimo debería ser de 0.33 y considerando un valor teórico de la relación de Poisson $\nu=0.5$ (Gómez et. al.; 2019).

8. Adherencia y resistencia a la compresión de morteros

La prueba de adherencia nos muestra la resistencia de la unión que hay entre el mortero y las piezas de mampostería, para esta prueba se construyeron cinco probetas con 4 piezas de 1 machimbre cada una y estas fueron del mismo tamaño, además al mortero se le fue añadido el aditivo y se siguió el procedimiento constructivo especificado por el fabricante de la mampostería autoensamblable Figura 2.10. Los ensayos se realizaron 28 días después de la construcción de las probetas y La velocidad de aplicación de la carga fue de 15 kg/s.



Figura 2.10 Espécimen para prueba de adherencia. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.

En la Tabla 2.1 se muestran los resultados de las probetas ensayadas, el tipo de mortero utilizado y el resultado de la resistencia a la adherencia en kg/cm². Los tipos de mortero utilizados fueron; el mortero con Uniblock en una relación de 20 kg por 6 litros de agua, y de este mortero habrá dos variantes, en la que la pieza es sumergida en agua antes de la construcción y otra en la que la pieza está seca; mortero estructural tipo 1 con las especificaciones de las NTC; mortero realizado con arena sílice también con base en las NTC; Truemorter aditivo de marca comercial premezclado, mortero con arena sílice más un aditivo propio del fabricante de la mampostera autoensamblable en una proporción de 2 % a 3 % ; y mortero estructural con porcentaje del 2 % al 4 % del mismo aditivo del fabricante.

#	Clave de probeta para adherencia	Clave de probeta para mortero	Descripción del Aditivo	Resistencia (kg/cm ²)
1	ADH200219PA	PA200219MT	Mortero estructural	4.9
2	ADH200219UNIBLOCK	PA200219UB	Uniblock, sin mojar	4.5
3	ADH200219PAC	PA200219MS	Mortero de arena sílice	4.3
4	ADH250219	PA250219TM	Truemorter	1.1
5	ADH270219	PA270219UB	Uniblock	1.2
6	ADH230319 AD+S 3%	Mortero con arena sílice aditivo 3%	Arena sílice y aditivo 3%	3.7
7	ADH230319 AD+S 2%	PA230319AS2%	Arena sílice y aditivo 2%	2.2
8	ADH230319AD 0%	PA270419A0%	Aditivo 0%	0.4
9	ADH230319AD 2%	PA270419A2%	Aditivo 2%	1.2
10	ADH230319AD 4%	PA270419A4%	Aditivo 4%	1.5

Tabla 2.1 Resistencias medias a compresión de cubos de mortero para adherencia. Determinación del proceso constructivo y resistencia de muretes de mampostería tipo QualytHome, 2019.

Como se puede observar los morteros que generan los mejores resultados son el mortero estructural y el aditivo marca Uniblock.

9. Resistencia a compresión de morteros

Esta prueba se realizó tomando varias muestras de los morteros a utilizar para la construcción de muros de mampostería, con estas muestras se construyen cubos de 5 cm por lado Figura 2.11, de los cuales se ensayaron tres cubos por cada tipo de mortero a los días 1,3 ,7 y 28 días después de su fabricación conforme a la norma NMX-C-082-ONNCCE-2013.

El aditivo que se utilizó para el pegado de las piezas fue el Uniblock, el cual tiene una resistencia a la compresión de 36.8 kg/cm² con base en las pruebas de laboratorio realizadas. En la Tabla 1.4 se muestra el resumen de los resultados de los diferentes morteros ensayados a compresión simple.



Figura 2.11 Llenado de probetas y ensaye de resistencia a compresión del mortero. Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome,2019.

#	Clave de aditivo	Resistencia (kg/cm ²)
1	P201218	37.4
2	M271218UNIBLOCK	36.2
3	M180119MORTERO	141.8
4	M210119UNIBLOCK	24.6
5	M080219MF	266.9
6	M090219MS	481.6
7	PA200219MS	354.1
8	PA200219MT	179.4
9	PA200219UB	17.2
10	PA250219TM	204.4
11	PA270219UB	33.9
12	PA230319AS2%	64.8
13	M1504319	37.9
14	PA270419A0%	75.5
15	PA270419A2%	27.1
16	PA270419A4%	57.5

Tabla 1.4 Resistencias a compresión simple de cubos de mortero. Determinación del proceso constructivo y resistencia de muretes de mampostería tipo QualytHome, 2019.

10. Prueba de cargas laterales reversibles a muros a escala real

Las pruebas a muros de escala real se realizaron en el laboratorio de la empresa Innova Desarrollo y Comercialización S.A de C.V. y ejecutada por personal especializado en este tipo de pruebas por parte de La Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

La prueba realizada a los muros a escala real fue la cíclica reversible, dicha prueba trata de evaluar comparativamente el comportamiento sísmico en muros de mampostería elaborados con bloques huecos de concreto ligero y reforzados interiormente, se realiza un ensaye pseudo-dinámico ya que la probeta está sujeta a cargas laterales cíclicas reversibles y compresión axial. El estudio del comportamiento pseudo-dinámico en la probeta funciona para medir la degradación de rigidez y resistencia, la obtención de la envolvente experimental de desplazamientos resultante de la aplicación de fuerzas laterales.

Algunas de las características y condiciones de los muros ensayados son las que se menciona continuación, cada muro tenía dimensiones de 2x2 metros aproximadamente, estaban reforzados interiormente, se simuló una carga en un edificio de la cantidad máxima de niveles que se podrían construir, así como también una losa en ambos costados con claros de la máxima dimensión que el fabricante produce.



Figura 2.12 Ensayo de muro MM-07 a escala real y máquina de prueba.
Comportamiento histerético de muros a escala real reforzados tipo QualytHome,2021.

Las pruebas del muro se realizaron de acuerdo con lo especificado en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería NTC- 2017 Apéndice A, con ayuda de un marco de prueba especializado denominado Marco de Muros, el cuál consta de tres gatos hidráulicos, dos de ellos verticales que ofrecen horizontalidad al muro, y, uno lateral el cual simula fuerzas laterales sísmicas a la probeta dicho marco está ubicado en el laboratorio especializado del fabricante. El resumen de las propiedades mecánicas se concentra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..5.**

3. PROYECTO ARQUITECTÓNICO.

El proyecto Arquitectónico de edificación para vivienda multifamiliar que se describirá más adelante se desarrollará en la ciudad de Puebla, cerca de la antigua cementera, el predio se ubica en la calle Triunfo Maderista # 2 Colonia Pino Suarez y cuenta con una superficie de 102 m². El proyecto que se construirá constará de aproximadamente 490 m² de construcción.



Figura 3.1 Ubicación del Edificio en la Ciudad de Puebla. Google Maps ,2022.

3.1 Descripción general del Proyecto Arquitectónico.

El edificio será de uso habitacional y este será de 5 niveles, cada nivel constará de 1 departamento, en total serán 5 departamentos y la azotea, la cual constará con un cuarto de instalaciones generales del edificio. El sistema estructural será construido a base de muros de mampostería, con piezas de block de concreto huecas autoensamblables reforzado interiormente, comercialmente el sistema QualytHome; para el sistema de piso se optará por losas macizas de concreto reforzado.

El edificio constará de un acceso principal peatonal y un cubo de escalera único en una esquina de este, el cual da acceso a cada departamento en cada nivel hasta llegar a la azotea, no habrá elevador. El proyecto de edificación no contempla un estacionamiento interno, pero si uno externo, además se contara con una cisterna de agua potable para la reserva del suministro de esta de 15 m³ de capacidad, un sistema de bombeo automático hacia los 5 tinacos, el suministro del agua fría hacia los departamentos será mediante tuberías por gravedad, 5 tanques estacionarios para el suministro de gas natural y 8 calentadores solares. Cada uno de los departamentos contara con sus servicios básicos para evitar conflictos entre los usuarios del edificio. La azotea será de uso común para realizar actividades generales y albergar las instalaciones generales antes descritas.

Los departamentos serán iguales en cuanto a la distribución de las áreas, contarán cada uno con un vestíbulo, 2 recamaras, 1 baño completo, cocina con barra, lavandería, sala y comedor. La azotea servirá también como área de lavado o de esparcimiento.

3.2 Acabados

Los muros interiores, plafones y marquesinas serán recubiertos con yeso. Los muros que tengan contacto con humedad como los de cocina y baño serán recubiertos con loseta cerámica del nivel de piso hasta el nivel de plafón. Los baños completos contarán con un W.C., lavamanos y regadera, además de cancelería de aluminio natural y cristal biselado. El piso en todo el departamento será a base de concreto pulido.

Las puertas de las recamaras y principal serán de multipanel con chapa de línea sencilla exceptuando la entrada principal que contara con una chapa de seguridad y una reja de herrería, las ventanas serán a base de aluminio natural y cristal claro.

De igual manera las rampas y descansos de las escaleras serán estructuradas mediante losas macizas de concreto reforzado y su acabado será deslavado, esto con la finalidad de generar una superficie antiderrapante.

Los muros exteriores serán con el acabado que trae de fábrica el block y solo se aplicarán selladores y barnices como protección para la intemperie.

La azotea se le generarán pendiente mediante la construcción de rellenos ligeros a base de cemento y carlita mineral, una vez colocado el relleno se le aplicará un sellador y se cubrirá el área con impermeabilizante termofusionado.

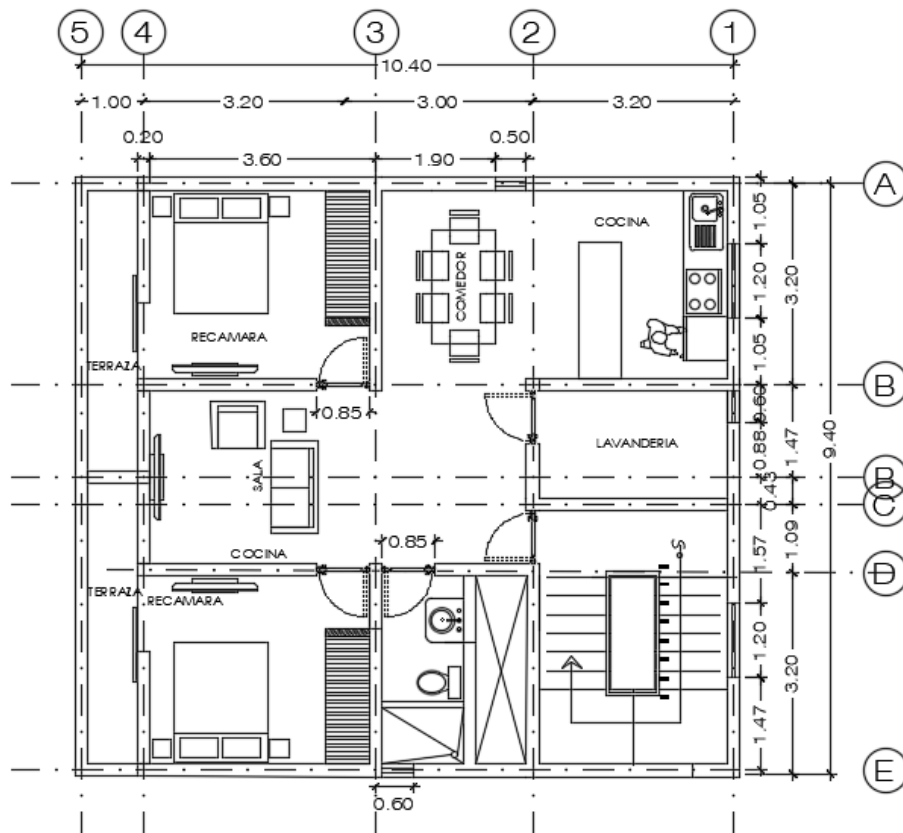


Figura 3.2 Planta Arquitectónica de los 5 niveles. Ramírez,2022.

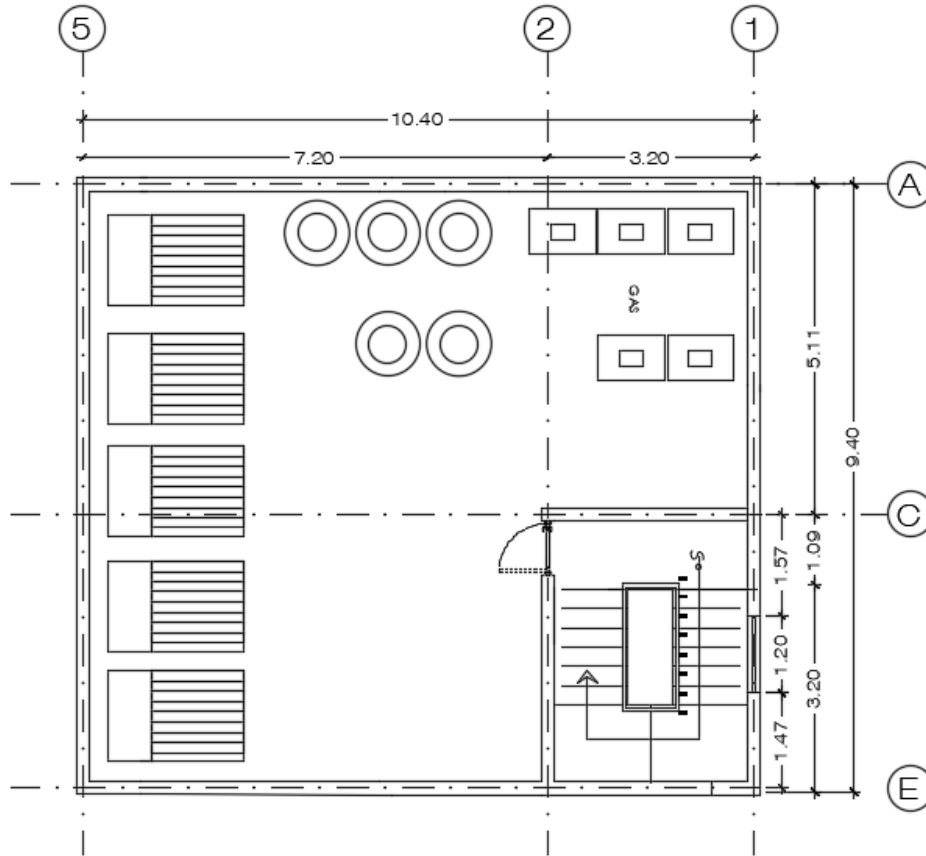


Figura 3.3 Planta de Azotea. Ramírez,2022.

3.3 Clasificación Estructural

Podemos concluir que el edificio multifamiliar de 5 niveles es una estructura del Tipo II y perteneciente al Grupo B2 según las NTC, con base en los antecedentes de la ubicación este se desplantará en un suelo Tipo I, será construido a base de muros de mampostería reforzada interiormente con el sistema QualytHome y la implementación de losas macizas no asegurará que el sistema de piso se comporte como un diafragma rígido. En cuanto a la cimentación se propondrá tentativamente zapatas corridas de concreto, pero esto dependerá de las descargas resultado del análisis estructural y la capacidad de carga del suelo.

En los siguientes capítulos se llevará a cabo la metodología y consideraciones necesarias para realizar el análisis y diseño estructural del edificio mediante un análisis lineal con diferentes discretizaciones del modelado de los muros.

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El proyecto estructural consiste en realizar el análisis lineal y el diseño de la estructura dentro de los límites del comportamiento lineal de los materiales, primeramente, se idealizará un modelo matemático en software especializado para poder evaluar la estructura ante cargas gravitacionales, accidentales, así como combinaciones de estas; se obtendrán los elementos mecánicos necesarios para diseñar y revisar los elementos estructurales, así como también se revisarán las condiciones de deformación como son las derivas de servicio y contra colapso.

4.1. Descripción estructural del edificio

La estructura será un edificio de 5 niveles con una altura de entrepiso de 2.8 m y una altura total de 16.5 m, este tendrá dimensiones de 10.4 x 9.4 m en planta, no tendrá ningún tipo de sótano o estacionamiento a nivel de piso. El edificio será destinado a albergar departamentos y estará estructurada mediante muros de carga a base mampostería autoensamblable, la cual podría clasificarse dentro de la mampostería hueca y reforzada interiormente, el sistema de piso que se plantea utilizar es el de losa maciza, que se considera se comporta como un diafragma rígido lo cual es benéfico para el comportamiento del edificio. La losa y los muros de mampostería se ligarán entre sí mediante dadas y los castillos internos de la mampostería de concreto reforzado.

Para disminuir la carga de relleno para las pendientes de drenaje de agua de lluvia en la azotea, se utilizarán rellenos ligeros a base de mortero y carlita mineral, así como impermeabilizantes impregnados. Se contemplará un pretil de 1.5 m de alto en el perímetro de la azotea como protección contra caídas y requisito de la fachada arquitectónica.

4.2. Materiales

Los materiales que se utilizarán para el diseño y construcción del edificio se expondrán a continuación:

Mampostería:

Las piezas de mampostería que se utilizarán serán las autoensamblables (QualytHome), dichas piezas deberán tener las características descritas en la Tabla 4.1 y el proceso constructivo deberá ser el indicado en el capítulo 1.3. Se deberá contar con los tres tipos de piezas comerciales existentes que son el de uno, dos y tres machimbrados para lograr la geometría requerida. Además, debido a la geometría no prismática de las piezas se deberá cumplir con los lineamientos del Anexo A de las NTC-17 para diseño de estructuras de mampostería.

Propiedades Mecánicas de la Mampostería Autoensamblable			
Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a compresión axial de piezas	\bar{f}_p	91.95	kg/cm ²
Resistencia de diseño a compresión de las piezas	f_p^*	61.3	kg/cm ²
Porcentaje de absorción total		25.45	%
Resistencia a la compresión pura en pilas	f_m	80.9	kg/cm ²
Resistencia a compresión simple de diseño	f_m'	56.62	kg/cm ²
Módulo de elasticidad en pilas	E_m	46625	kg/cm ²
Resistencia a la compresión diagonal diseño en muretes	$v'm$	4.81	kg/cm ²
Módulo de cortante en muretes	G_m	12561	kg/cm ²
Resistencia de la adherencia del mortero estructural mínima		4.5	kg/cm ²
Resistencia a compresión simple del mortero mínima		36.2	kg/cm ²

Tabla 4.1 Propiedades mecánicas de la mampostería autoensamblable.

La resistencia a compresión axial promedio y de diseño deben por lo menos cumplir con los valores mínimos de la Tabla 2.1.2 y el peso volumétrico mínimo establecido en la Tabla 2.1.1 de las NTC-17 para diseño de estructuras de mampostería.

Mortero para junteo y concreto de relleno:

El mortero para pegar piezas de mampostería para muros estructurales debe cumplir con los requisitos que establece la norma mexicana NMX-C-486-ONNCCE, la resistencia a compresión del mortero sea para pegar piezas o de relleno, se determinará de acuerdo con el ensaye especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE, la resistencia a compresión del concreto de relleno se determinará del ensaye de cilindros elaborados, curados y probados de acuerdo con las normas NMX-C-159-ONNCCE y NMX-C-083-ONNCCE.

Los morteros se clasificarán por su resistencia de diseño a compresión en los siguientes tipos:

Tipo I; con resistencia a compresión de diseño mayor o igual que 12.5 MPa (125 kg/cm²) y una resistencia media de 18 MPa (180 kg/cm²).

Tipo II; con resistencia a compresión de diseño menor que la del Tipo I y mayor o igual que 7.5 MPa (75 kg/cm²), y una resistencia media de 11 MPa (110 kg/cm²).

Para nuestro proyecto con base en las pruebas de laboratorio, se podrá utilizar morteros estructurales premezclados en seco, además se podrá considerar la adición de aditivos que mejoren adherencia entre las piezas como el Uniblock, exceptuando aditivos aceleradores de fraguado. A pesar de que los valores de resistencia a compresión de diseño y promedio del mortero de las pruebas reflejan valores menores a los mínimos establecidos, el comportamiento global del muro es bueno.

Para los concretos de relleno se tomarán como valores mínimos de compresión de diseño y promedio los establecidos para un Mortero Tipo 1, el tamaño máximo del agregado para estos concretos no deberá exceder los 10 mm y el revenimiento deberá cumplir lo establecido en la Tabla 2.5.2 de las NTC-17 de diseño de estructuras de mampostería.

Acero de refuerzo:

El refuerzo que se emplee en castillos o dalas, elementos colocados en el interior del muro, estarán constituidos por barras corrugadas, por alambres corrugados laminados en frío, o por armaduras soldadas por resistencia eléctrica de alambre de acero para castillos y dalas. Las barras corrugadas deben cumplir con las normas NMX-C-407-ONNCCE, NMX-B-457-CANACERO y NMX B-506-CANACERO; los alambres laminados en frío deben cumplir con la norma NMX B-072-CANACERO o NMX-B-253-CANACERO; y las armaduras de alambre soldado para castillos y dalas deben cumplir con la norma NMX-B-456-CANACERO. Se admitirá el uso de barras lisas, como el alambrón, únicamente en estribos. El alambrón debe cumplir con la norma NMX-B-365 CANACERO y contar con un esfuerzo de fluencia mínimo, f_y , de 210 MPa (2100 kg/cm²). El diámetro mínimo del alambrón para ser usado en estribos es de 5.5 mm. El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, E_s , se supondrá igual a 2×10^5 MPa (2×10^6 kg/cm²). Para diseño se considerará el esfuerzo de fluencia mínimo establecido en las normas citadas $f_y=420$ MPa (4200 kg/cm²) para varillas del #3 y mayores, $f_y=500$ MPa (5000 kg/cm²) para malla electrosoldada, $f_y=600$ MPa (6000 kg/cm²) para ARMEX y barras de refuerzo interior.

Concreto:

Se considero para la revisión del concreto de resistencia característica a compresión 25 MPa (probeta cilíndrica), para todos los elementos estructurales tales como dalas de cerramiento y losa maciza de concreto reforzado.

Concreto.	
Resistencia a compresión del concreto	$f'c = 25 \text{ kg/cm}^2$
Tipo de concreto	Clase I
Peso volumétrico	$\gamma = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidad del concreto	$E = 11\,000 \sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2$

Tabla 4.2 Propiedades del concreto.

Aditivos:

Con base en las NTC-17 de construcción de estructuras de mampostería podrán incluirse aditivos en los morteros y concretos de relleno que mejoren las características de estos, exceptuado los aditivos que aceleren el fraguado. Para nuestro proyecto se deberá utilizar el Aditivo Uniblock en el mortero para el mamposteo.

Normativa utilizada:

Los reglamentos que se utilizaron para el desarrollo de la presente memoria de cálculo son:

- Para la obtención de las cargas sísmicas: Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por Sismo – Comisión Federal de Electricidad – 2015
- Para el diseño de los elementos de concreto: normativa mexicana NTC 2017.
- Para el diseño de los elementos de acero: normativa mexicana NTC 2017.
- Para el diseño de estructuras de mampostería: normativa mexicana NTC 2017

Análisis de cargas:

Conforme a lo dispuesto por los criterios generales del Reglamento de Construcciones se consideran tres tipos de acciones y combinaciones de estas para realizar el análisis estructural de una estructura:

- Cargas Muertas
- Cargas Vivas
- Cargas Accidentales (Sísmicas)

Cargas muertas (CM)

La evaluación de las cargas muertas que gravitan en la estructura se realiza considerando los pesos volumétricos de los materiales, las dimensiones de los diferentes elementos estructurales, así como una sobrecarga debido a muebles, acabados e instalaciones. Para cada caso en particular se tomaron los valores máximos probables de los pesos volumétricos de cada material utilizado en la construcción del edificio.

Cargas vivas (CV)

Para la evaluación de las cargas vivas nominales unitarias se siguieron los lineamientos marcados en las normas técnicas complementarias del reglamento de construcciones de la ciudad de México.

CÁLCULO DE CARGA MUERTA PARA ENTREPISO

LOSA MACIZA H=20 cm	PESO (kg/m ²)	480	ANÁLISIS DE CARGA		
PESO DE INSTALACIONES	PESO (kg/m ²)	15	(NTC-2017)		kg/m ²
IMPERMEABILIZANTE/PISO	PESO (kg/m ²)	0	FICHA TÉCNICA	CVM	190
MORTERO/RELLENO	PESO (kg/m ²)	0		CVI	100
PLAFÓN O ACABADO	PESO (kg/m ²)	15	PLAFÓN		
CARGA POR NORMA	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
VARIACIÓN PESO CONCRETO	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
CARGA MUERTA DE LA LOSA	PESO (kg/m²)	550			
CARGA MUERTA +CARGA VIVA MAX	PESO (kg/m²)	740			
CARGA MUERTA+ CARGA VIVA INST. PARA ANÁLISIS SÍSMICO					
CARGA	PESO (kg/m²)	650			

CÁLCULO DE CARGA MUERTA PARA AZOTEA S <5%

LOSA MACIZA H=20 cm	PESO (kg/m ²)	480	ANÁLISIS DE CARGA		
PESO DE INSTALACIONES	PESO (kg/m ²)	15	(NTC-2017)		kg/m ²
IMPERMEABILIZANTE/PISO	PESO (kg/m ²)	5	FICHA TÉCNICA	CVM	100
MORTERO/RELLENO	PESO (kg/m ²)	20		CVI	70
PLAFÓN O ACABADO	PESO (kg/m ²)	15	PLAFÓN		
CARGA POR NORMA	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
VARIACIÓN PESO CONCRETO	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
CARGA MUERTA DE LA LOSA	PESO (kg/m²)	575			
CARGA MUERTA +CARGA VIVA MAX	PESO (kg/m²)	675			
CARGA MUERTA+ CARGA VIVA INST. PARA ANÁLISIS SÍSMICO					
CARGA	PESO (kg/m²)	645			

CÁLCULO DE CARGA MUERTA PARA ESCALERAS

LOSA MACIZA H=15 cm	PESO (kg/m ²)	360	ANÁLISIS DE CARGA		
PESO DE INSTALACIONES	PESO (kg/m ²)	15	(NTC-2017)		kg/m ²
IMPERMEABILIZANTE/PISO	PESO (kg/m ²)	0	FICHA TÉCNICA	CVM	350
MORTERO/RELLENO	PESO (kg/m ²)	0		CVI	150
PLAFÓN O ACABADO	PESO (kg/m ²)	0	PLAFÓN		
CARGA POR NORMA	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
VARIACIÓN PESO CONCRETO	PESO (kg/m ²)	20	(NTC-2017)		
CARGA MUERTA DE LA LOSA	PESO (kg/m²)	415			
CARGA MUERTA +CARGA VIVA MAX	PESO (kg/m²)	765			
CARGA MUERTA+ CARGA VIVA INST. PARA ANÁLISIS SÍSMICO					
CARGA	PESO (kg/m²)	565			

Tabla 4.3 Análisis de Cargas

Cargas sísmicas:

Siguiendo los criterios de diseño establecidos para los proyectos, y en base al tipo de estructuras que marca el Manual de diseño de Obras Civiles de la CFE 2015, se considerará la estructura como un edificio, con los parámetros correspondientes a cada configuración y uso, lo cuales tendrán una afección al espectro sísmico transparente obtenido con el PROSIDIS.

Clasificación de la estructura.

Se ha clasificado las estructuras de acuerdo con el Manual de diseño de Obras civiles CFE 2015 como estructura Tipo B1 por el uso e importancia con base en la Tabla 1.1 y subsección 3.1.2.2 de la Sección 3.1. Espectros de diseño sísmico para el territorio mexicano.

Comportamiento Sísmico, Sobrerresistencia y Redundancia.

Comportamiento Sísmico:

El factor de comportamiento sísmico Q se emplea para tomar en cuenta la influencia del comportamiento no lineal del sistema en la estimación de su demanda sísmica, y con ello, en su desempeño esperado y nivel de confiabilidad. Para estructuras tipo Edificios y con base en que este se estructurará a base de mampostería se recomienda la adopción de un factor de comportamiento sísmico $Q=1.5$, según la subsección 3.3.1.1 de la Sección 3.3 Estructuras Tipo 1 Edificios.

Sobrerresistencia:

El factor reductor por sobrerresistencia R (T_e , R_o) para el análisis de la estructura, puede cambiar con base en las características y propiedades en cada dirección. Para estructuras tipo Edificio a base de mampostería se recomienda la adopción de los siguientes valores de sobrerresistencia índice $R_o=2$, según la subsección 3.3.1.3 de la Sección 3.3 Estructuras Tipo 1 Edificios.

Redundancia:

Para cada dirección ortogonal de análisis, la redundancia de la estructuración empleada se tomará en cuenta mediante el factor por redundancia, $p=1.25$, en estructuras con al menos tres marcos o líneas de defensa paralelas en la dirección de análisis y que cada marco o línea de defensa disponga de al menos tres crujías o estructuraciones equivalentes, según la subsección 3.3.1.4 de la Sección 3.3 Estructuras Tipo 1 Edificios.

Amortiguamiento

El valor usado para el amortiguamiento estructural que se usará es del 6 % por el tipo de estructuración a base de muros de mampostería confinada de bloques huecos, según la Tabla 3.1 de la Sección 3.3 Estructuras Tipo 1 Edificios.

Con base en las propiedades antes mencionadas y con la ayuda del programa PRODISIS de la CFE se podrá caracterizar el espectro sísmico transparente y de diseño.

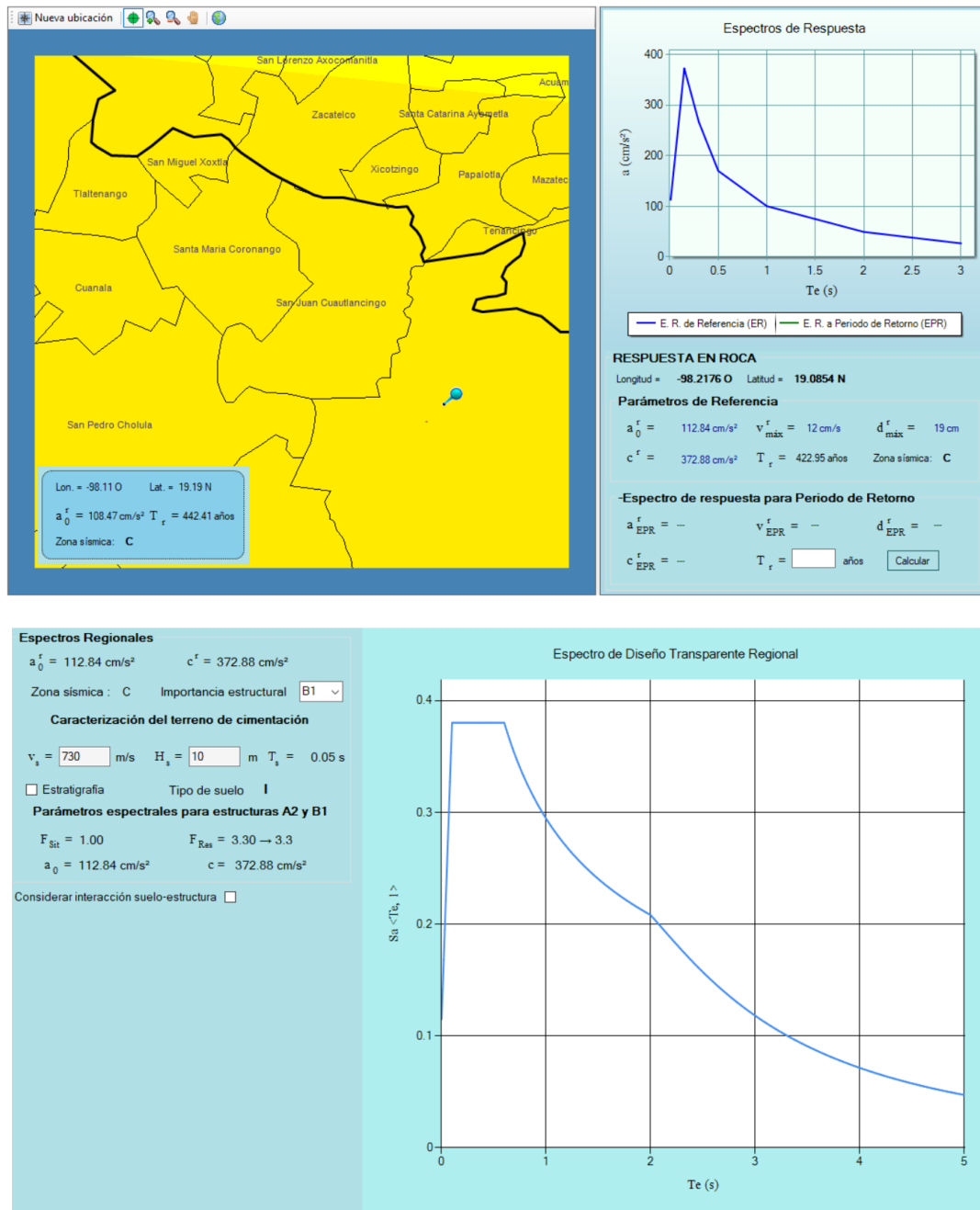


Fig. 4.1. Espectro de diseño Transparente Regional tipo B1, PRODISIS,2015.

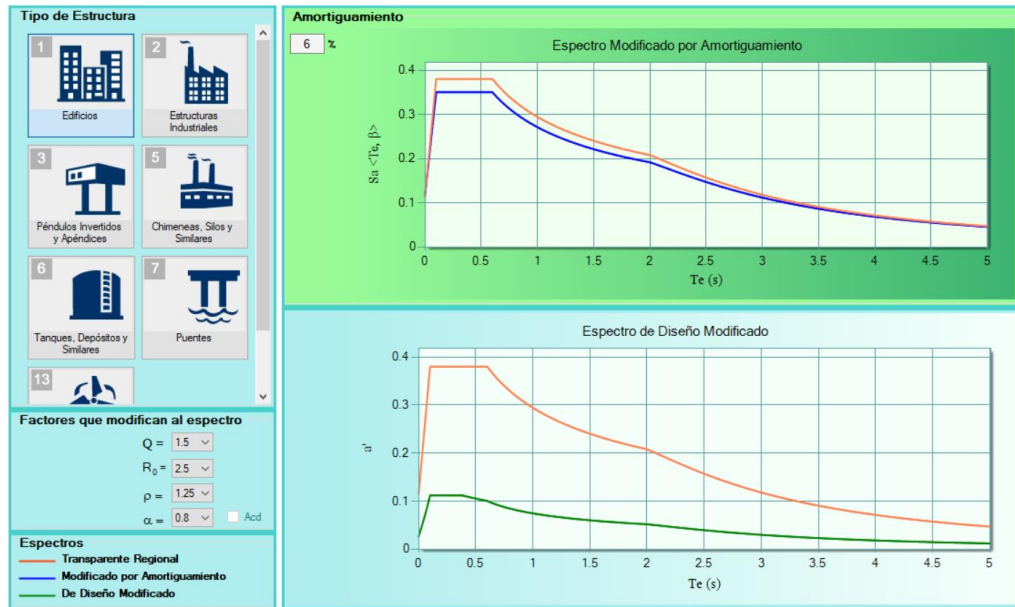


Fig. 4.2. Espectro de diseño, PRODISIS,2015.

Casos y Combinaciones de carga:

De acuerdo con las NTC 2017, las combinaciones de diseño para evaluar el estado límite de falla y de servicio son las siguientes:

Casos de carga:

CM	Carga Muerta (peso propio, fachadas, pavimentos, acabados, techos, etc.)
VE	Carga Viva Máxima
VEo	Carga Viva Instantánea o reducida según NTC
Sy+	Sismo horizontal y positivo
Sy-	Sismo horizontal y negativo
Sx+	Sismo horizontal x positivo
Sx-	Sismo horizontal x negativo

Combinaciones de servicio:

COMB	CM	VE	VEo	Sx+	Sx-	Sy+	Sy-
COMB101	1.0						
COMB102	1.0	1.0					
COMB103	1.0		1.0	1.0		0.3	
COMB104	1.0		1.0	1.0			-0.3
COMB105	1.0		1.0		-1.0	0.3	
COMB106	1.0		1.0		-1.0		-0.3

Combinaciones de diseño:

COMB	CM	VE	VEo	Sx+	Sx-	Sy+	Sy-
COMB201	1.3						
COMB202	1.3	1.5					
COMB203	1.1		1.1	1.1		0.33	
COMB204	1.1		1.1	1.1			-0.33
COMB205	1.1		1.1		-1.1	0.33	
COMB206	1.1		1.1		-1.1		-0.33
COMB207	0.9			1.1		0.33	
COMB208	0.9			1.1			-0.33
COMB209	0.9				-1.1	0.33	
COMB210	0.9				-1.1		-0.33

Metodología de análisis de elementos barra y placa en el software:

Para el análisis estructural del proyecto se idealizarán modelos matemáticos los cuales servirán para corroborar que las estructuraciones sean las adecuadas bajo las diferentes solicitaciones a las que estará sujeta la estructura, como son cargas gravitacionales, accidentales y de operación, así como la combinación de estas.

En esta sección se describen la geometría y los esfuerzos como resultado de las cargas aplicadas. El cálculo está de acuerdo con el método de análisis global utilizado para calcular las fuerzas y los momentos de los miembros internos, mediante un modelo tridimensional, con el software de diseño estructural ETABS. Este software utiliza el método elástico de análisis que se puede utilizar en todos los casos. El programa se basa en técnicas de cálculo matricial y elementos finitos bajo la hipótesis lineal la cual estipula:

- Proporcionalidad entre tensiones y deformaciones.
- Compatibilidad de elementos estructurales.
- Equilibrio estático local y global de cada una de las partes de la estructura.

Todos los elementos estructurales se han introducido en el modelo ya sea como elementos lineales tipo "Frame" que caracterizan a las dalas. Estos elementos utilizan una formulación general de vigas-columnas que incluye efectos de flexión biaxial, torsión, deformación axial y deformación biaxial por cortante.

Cada elemento tiene su propio sistema de coordenadas local para definir las cargas y propiedades del material y para interpretar la salida. Los ejes de este sistema local se indican con 1, 2 y 3. El eje local 1 es eje longitudinal del elemento. El eje local 2, por defecto, se encuentra en el plano 1-Z, excepto cuando el elemento es vertical, entonces es paralelo al eje global X. La definición de los ejes locales sigue la "regla de la mano derecha".

Los esfuerzos internos del elemento tipo "Frame" son:

- P, esfuerzo axial
- V2, cortante en el plano 1-2
- V3, cortante en el plano 1-3
- T, torsor (eje 1)
- M2, momento flector en el plano 1-3 (eje 2)
- M3, momento flector en el plano 1-2 (eje 3)

El convenio de signos para los esfuerzos en los elementos tipo "Frame" es el que se muestra en la siguiente figura:

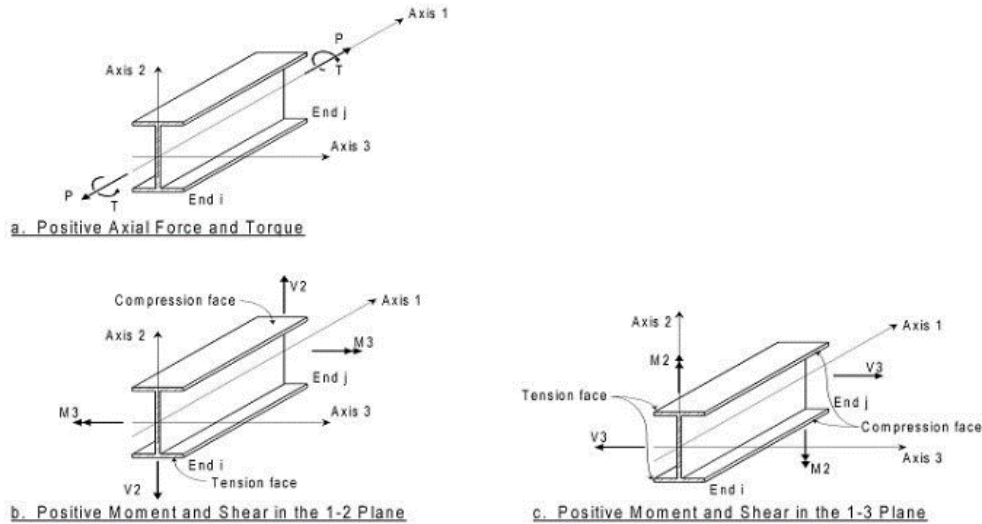


Fig. 4.3. Ejes locales y esfuerzos internos del elemento frame, (Manual ETABS CSI, 2022).

También los elementos estructurales tipo área se han introducido en el modelo como elementos tipo “Shell” que caracterizan a los muros de mampostería y a las losas macizas. Las seis caras de un elemento shell se definen como la cara positiva 1, la cara negativa 1, la cara positiva 2, la cara negativa 2, la cara positiva 3 y la cara negativa 3 como se muestra en la figura a continuación.

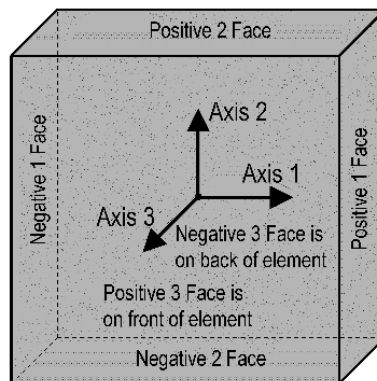


Fig. 4.4. Ejes locales y caras del elemento shell, (Manual ETABS CSI, 2022).

Las fuerzas internas del elemento de cubierta, como las tensiones, actúan en todo el elemento. Las fuerzas internas se informan como fuerzas y momentos por unidad de longitud en el plano.

Las fuerzas y los momentos básicos del elemento de cubierta se identifican como F_{11} , F_{22} , F_{12} , M_{11} , M_{22} , M_{12} , V_{13} y V_{23} .

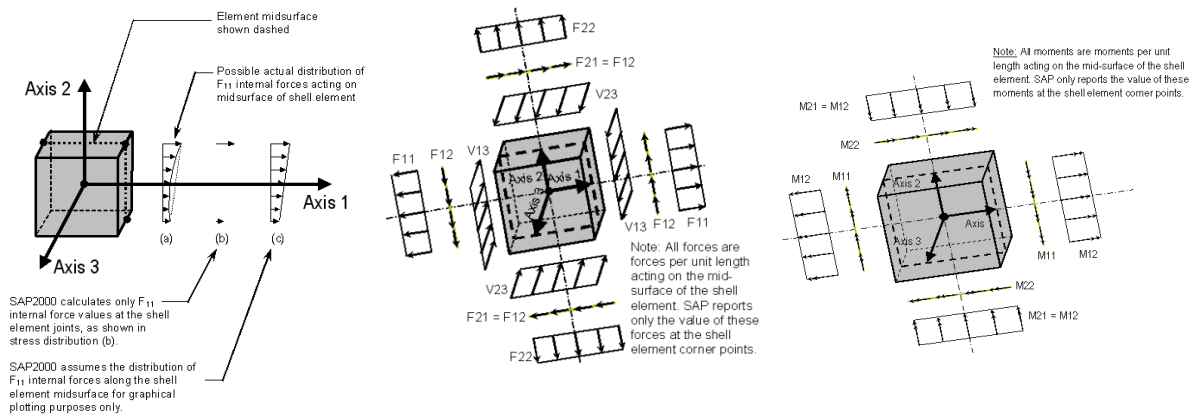


Fig. 4.5. Ejes locales y esfuerzos internos del elemento shell, (Manual ETABS CSI, 2022).

4.3. MODELOS COMPARATIVOS

Para poder definir las recomendaciones de modelado para la mampostería autoensamblable QualytHome se realizaron 6 modelos variando el tipo de apoyo y la discretización del modelo para observar que tipo de modelado se recomienda para este tipo de mampostería, la cual deberá arrojar valores de los esfuerzos con una distribución congruente del comportamiento esperado y comparar variables como el periodo estructural, las derivas, deformaciones que estén dentro de los valores admisibles marcados por las NTC.

Modelo 1

El modelo cuenta con las siguientes características de modelado:

-Modelo 1A

-Discretización mínima de los elementos área, solo en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos articulados.

-Modelo 1B

-Discretización mínima de los elementos área, solo en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos empotrados.

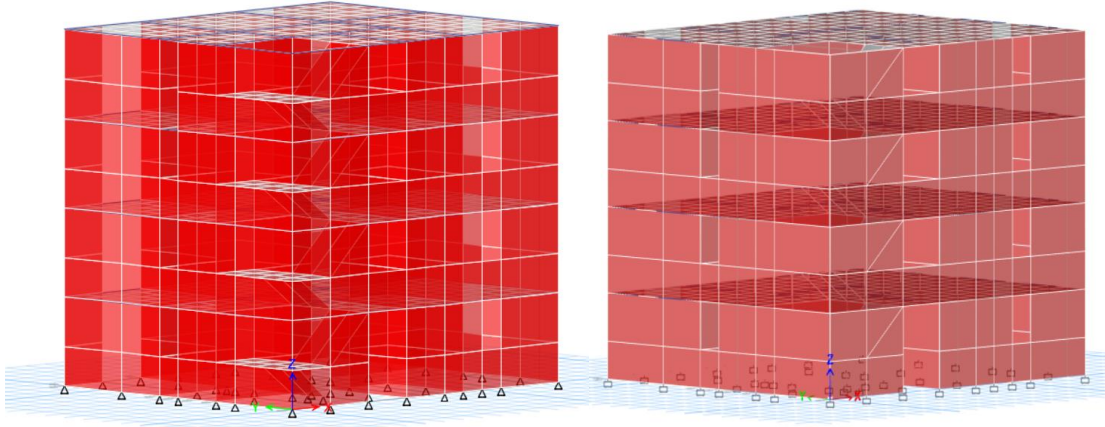


Fig. 5.1. Modelo 1 con discretización mínima de los muros de mampostería y apoyos articulado (1A) y empotrado (1B) respectivamente.

Modelo 2

El modelo cuenta con las siguientes características de modelado:

-Modelo 2A

-Discretización media de los elementos área, en este tipo de discretización se simula un módulo de 70 cm que equivale a dos piezas de 3 machimbres, además de en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos articulados.

-Modelo 2B

-Discretización media de los elementos área, en este tipo de discretización se simula un módulo de 70 cm que equivale a dos piezas de 3 machimbres, además de en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos empotrados.

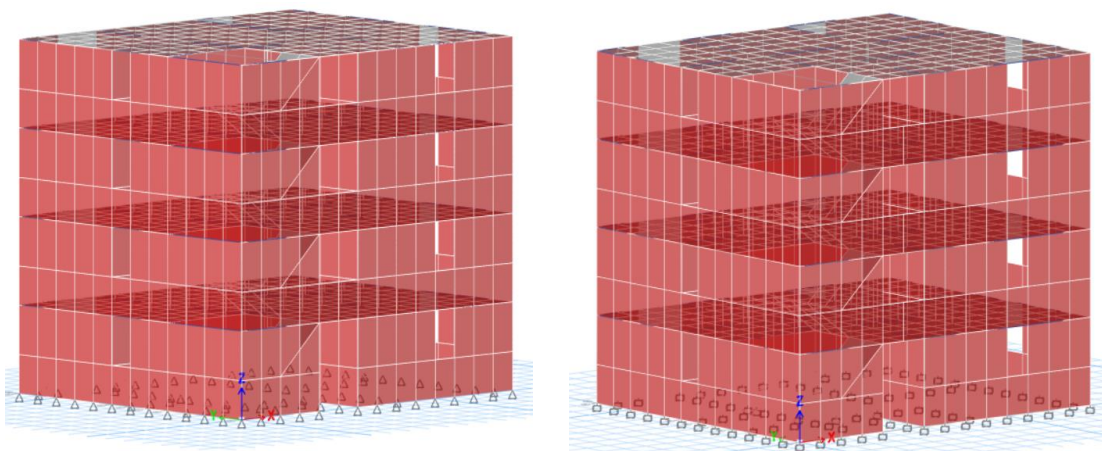


Fig. 5.2. Modelo 2 con discretización media de los muros de mampostería y apoyos articulado (2A) y empotrado (2B) respectivamente.

Modelo 3

El modelo cuenta con las siguientes características de modelado:

-Modelo 3A

-Discretización alta de los elementos área, en este tipo de discretización se simula una pieza de 3 machimbres, además de en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos articulados.

-Modelo 3B

-Discretización alta de los elementos área, en este tipo de discretización se simula una pieza de 3 machimbres, además de en los cambios de dirección, muros intermedios y huecos de puertas y ventanas; apoyos empotrados.

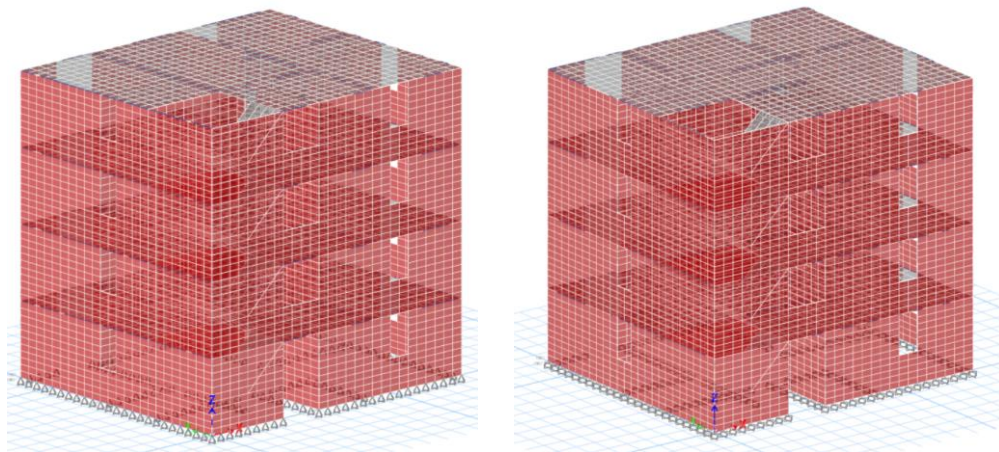


Fig. 5.3. Modelo 3 con discretización alta de los muros de mampostería y apoyos articulado (3A) y empotrado (3B) respectivamente.

Para continuar en la siguiente tabla se compararán diferentes parámetros cuantitativos los cuales nos permitirán definir cuál de los diferentes modelos nos brinda información más confiable; entre los parámetros a comparar se encuentran el periodo estructural, las derivas, deflexiones de la mampostería, descarga axial en los apoyos, cortante basal, esfuerzo axial en los muros del primer nivel, esfuerzo a cortante en los muros de primer nivel y participación de masa en el análisis sísmico dinámico.

CARACTERIZACIÓN			PARÁMETROS								
MODELO	NIVEL DE DISCRETIZACIÓN	APOYO EN LA BASE	PERIODO	DERIVAS ÚLTIMO NIVEL		DEFLEXIONES	CORTANTE BASAL		ESFUERZO AXIAL	ESFUERZO CORTANTE	MODO EN EL QUE REBASAN EL 90 %DE PARTICIPACIÓN DE MASA EN AMBOS SENTIDOS
			s	%		mm	Ton		kg/cm ²	kg/cm ²	MODO
				X	Y						
1A	Mínima	Articulado	0.1040	0.0048	0.00367	0.208	39.19	38.46	12.12	2.92	9
1B	Mínima	Empotrado	0.1039	0.0049	0.00365	0.208	38.97	38.20	12.49	2.94	9
2A	Media	Articulado	0.1053	0.0050	0.0366	0.218	39.45	38.79	12.36	2.89	8
2B	Media	Empotrado	0.1050	0.0497	0.00364	0.218	39.34	38.62	12.72	2.89	8
3A	Alta	Articulado	0.1105	0.0055	0.00397	0.233	39.587	40.25	12.12	2.4	5
3B	Alta	Empotrado	0.1103	0.00549	0.00395	0.233	39.53	40.17	12.24	2.4	5

Tabla 5.1 Resumen comparativo de parámetros.

Modelo 1

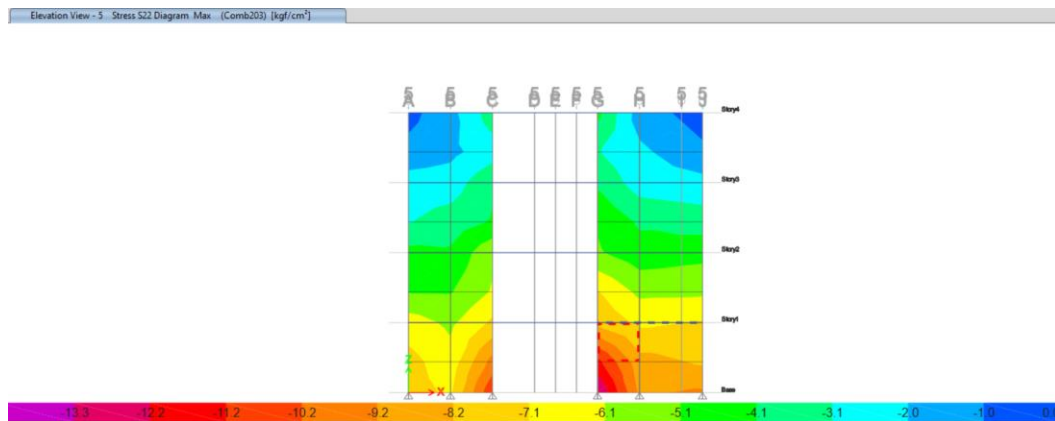


Fig. 5.4. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 1 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (1A).

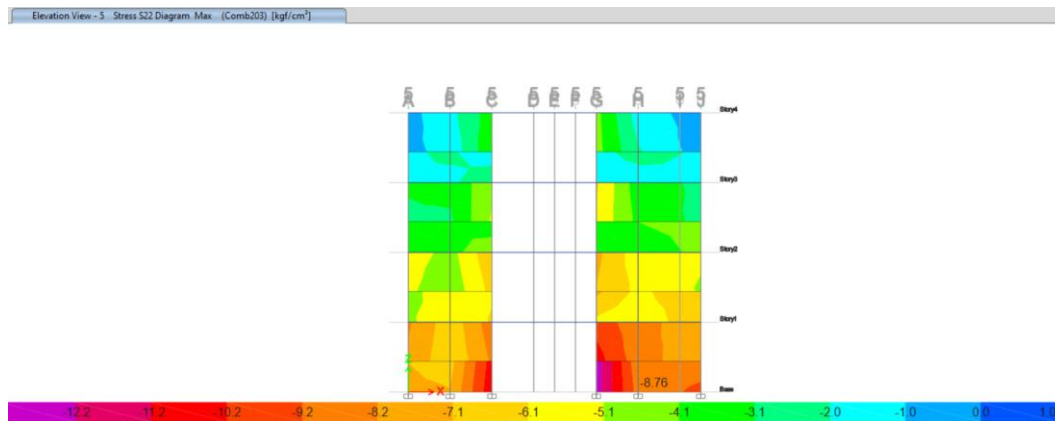


Fig. 5.5. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 1 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (1B).

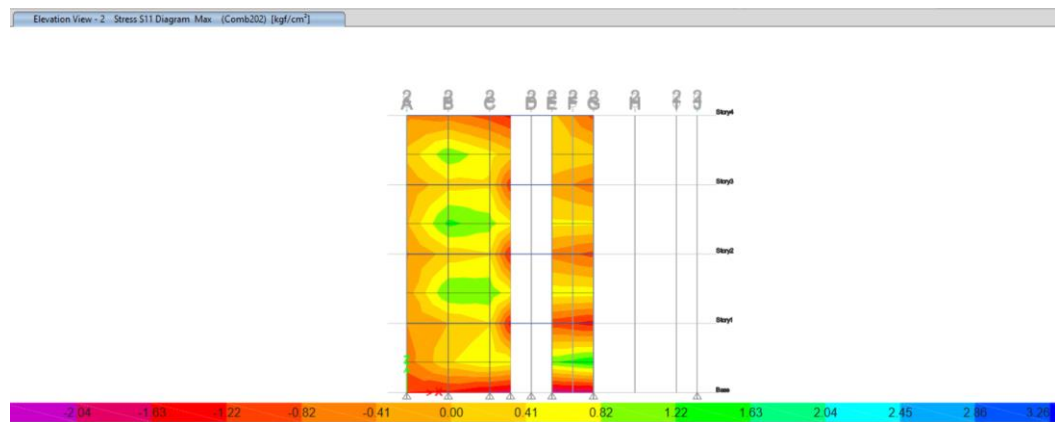


Fig. 5.6. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 1 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (1A).

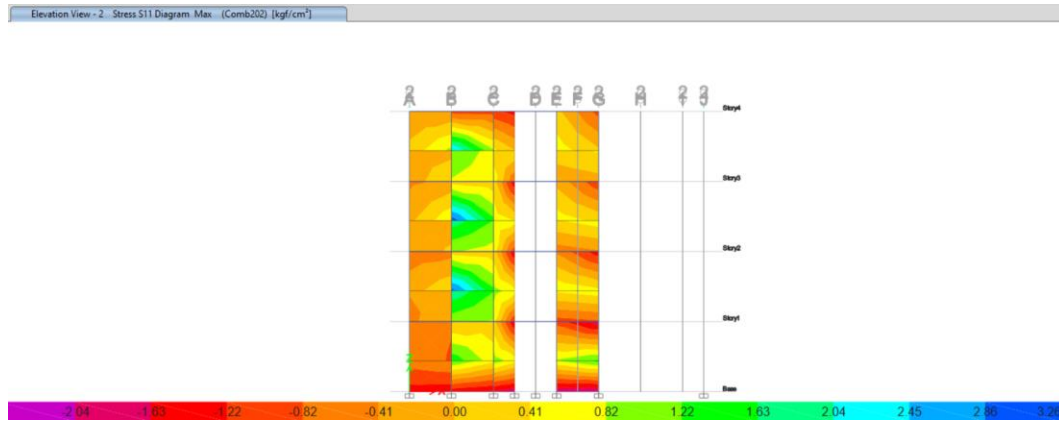


Fig. 5.7. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 1 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (1B).

Modelo 2

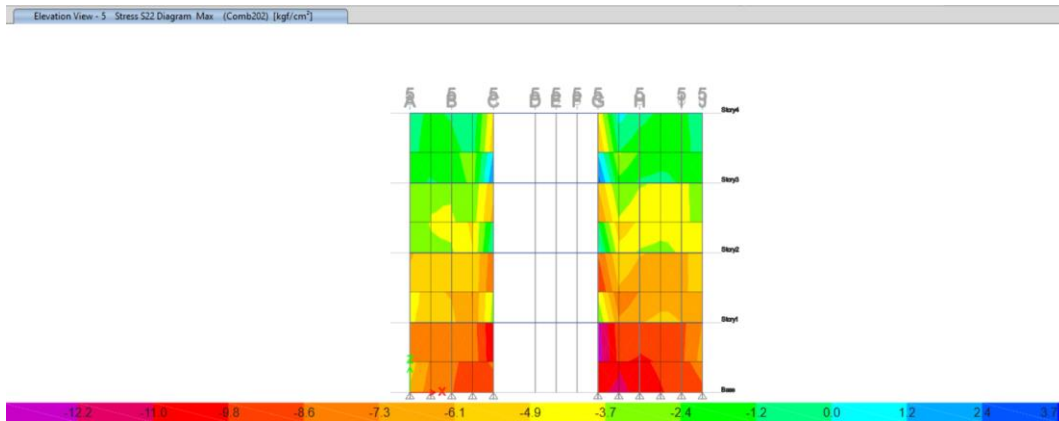


Fig. 5.8. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 2 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (2A).

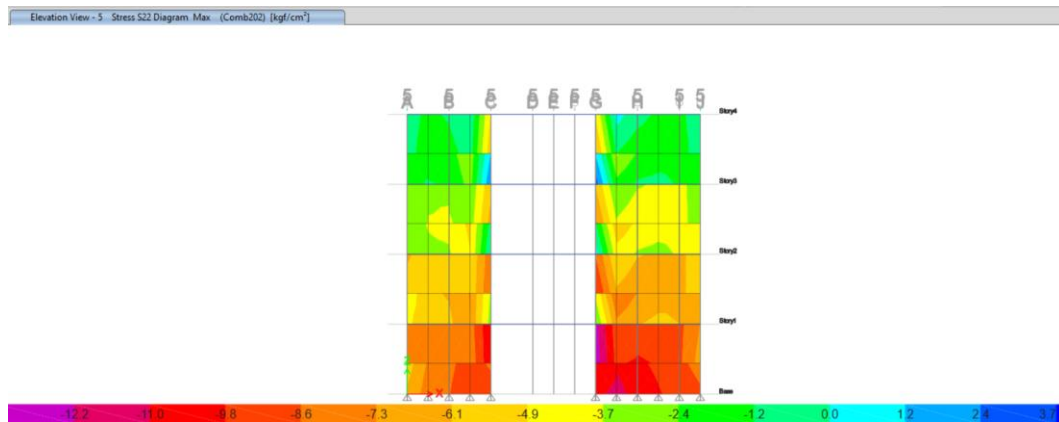


Fig. 5.9. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 2 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (2B).

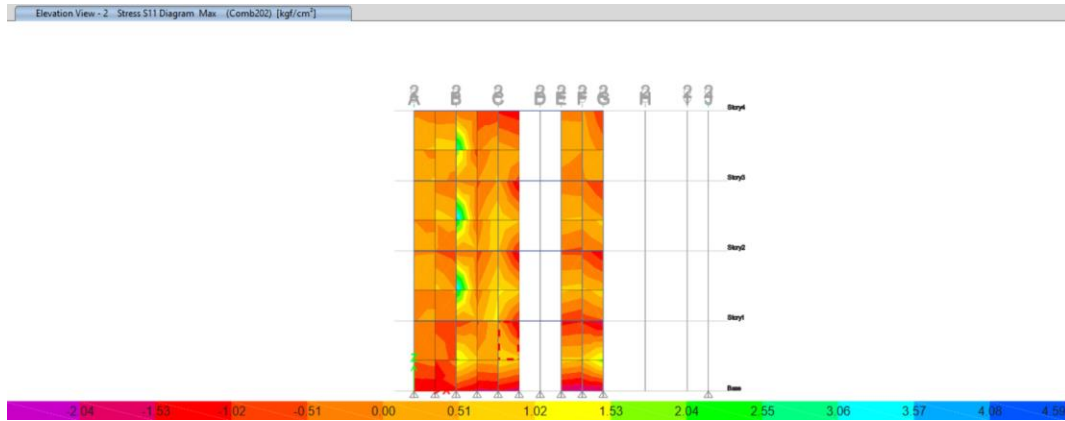


Fig. 5.10. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 2 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (2A).

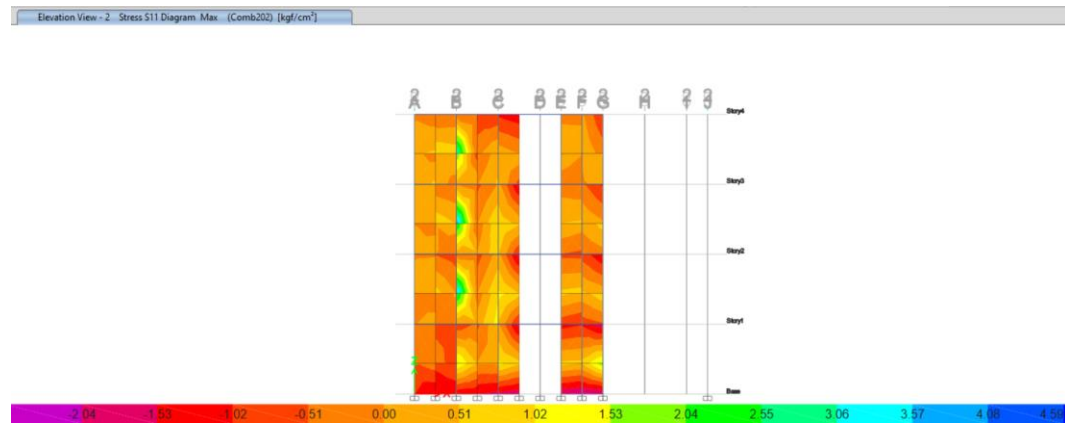


Fig. 5.11. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 2 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (2B).

Modelo 3

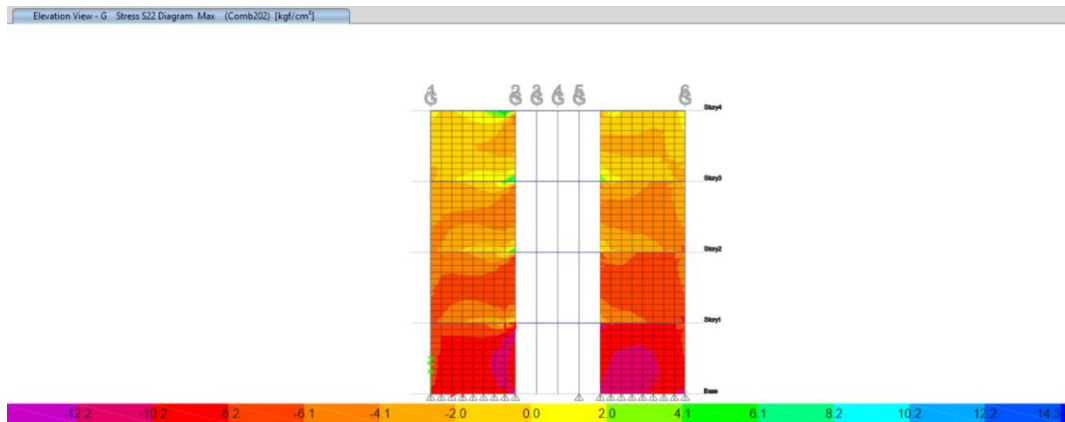


Fig. 5.12. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 3 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (3A).

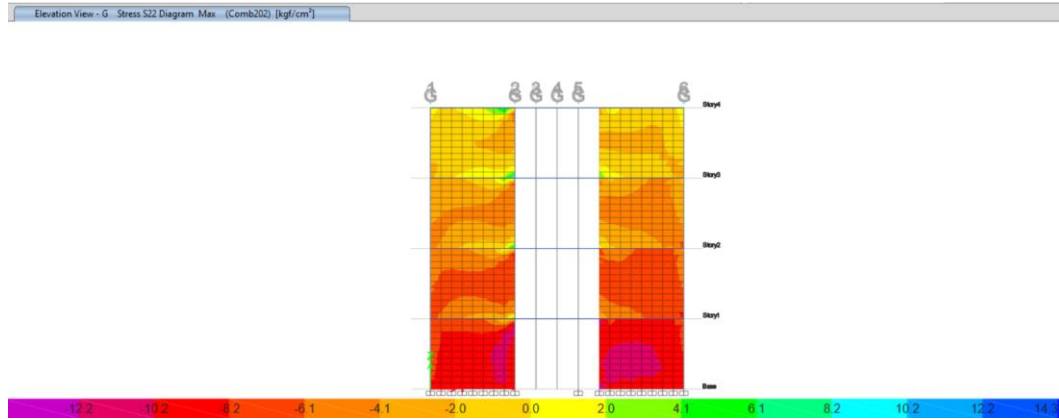


Fig. 5.13. Diagrama de esfuerzos axiales del muro más esforzado para el Modelo 3 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (3B).

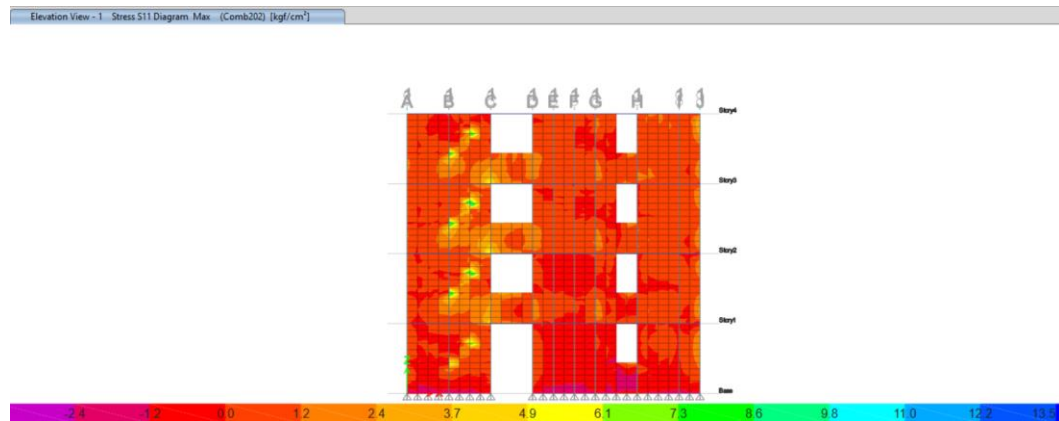


Fig. 5.14. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 3 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos articulado (3A).

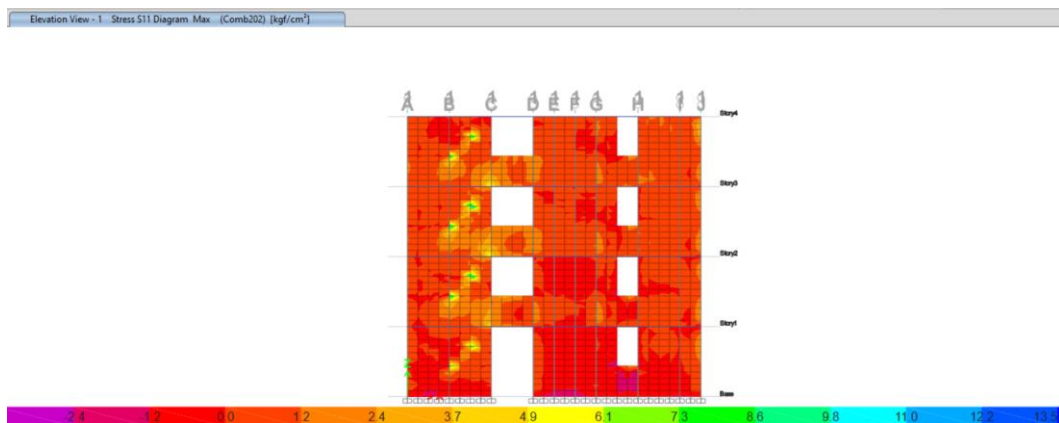


Fig. 5.15. Diagrama de esfuerzos cortantes del muro más esforzado para el Modelo 3 con discretización mínima de los muros de mampostería, apoyos empotrados (3B).

4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en la tabla del resumen de parámetros podemos realizar una comparativa y análisis de las diferentes modelos que se realizaron, caracterizando dichos modelos con las propiedades globales obtenidas de las pruebas del laboratorio realizadas a las piezas y muros a escala real de la mampostería QualytHome.

Primeramente podemos observar basados en los parámetros de los periodos estructurales y las derivas de los modelos 1 y 3, que mientras el mallado de los elementos área con los que se modelan los muros de mampostería se hace más pequeños o cercanos a las dimensiones de la pieza de mampostería, la estructura incrementa su periodo estructural y la estructura tiende a ser más flexible, además los desplazamientos laterales también se incrementan; lo que indica que la estructura adquiere mayor flexibilidad, pero sin exceder las derivas admisibles. Esto podemos atribuirlo al discretizado pequeño de los muros, los nodos de los elementos área permiten un desplazamiento más cercanos a la realidad y menos rígido, al contrario de un elemento con un discretizado mayor que presenta un comportamiento más rígido, de igual manera el tipo de apoyo influye casi nada en el comportamiento de las estructuras de mampostería a diferencia de estructuras a base de marcos estructurales, aun así la pequeña variación del periodo en los modelos se debe a que un empotramiento restringe mayormente la rotación de los elementos área a diferencia del apoyo articulado que asemeja más al efecto domino.

Las deflexiones verticales de los muros entre los modelos 1, 2 y 3, específicamente el primer nivel incrementan en promedio 5.3 % conforme el mallados se va haciendo más refinado, este dato, aunque no está ligado directamente al comportamiento global, nos indica la deformación de los muros ante cargas gravitacionales, esto quiere decir que cada vez que los segmentos se van reduciendo de tamaño o el mallado se va haciendo más fino, la deformación de los muros es más cercana al comportamiento real, ya que los muros son elementos formados por piezas individuales y al generarse una deformación por flexión esta deberá deformarse y no comportarse como un elemento monolítico como el que presentaría una trabe de concreto.

Los parámetros como el cortante basal, así como los esfuerzos axial y cortante de los modelos 1 y 3 se incrementan con una variación entre el 1 y el 3% conforme el mallado se hace más refinado y basados en los diagramas de esfuerzos, nos indica que hay una mejor distribución de esfuerzos mientras el mallado este más cerca de las dimensiones de la pieza de mampostería, como se puede observar en entre los diagramas de las Figuras 5.4 y 5.12 donde la distribución del esfuerzo axial se distribuye mejor y se distingue claramente las zonas esforzadas, los mismo sucede si comparamos los diagramas de cortante de las Figuras 5.6 y 5.14.

El cortante basal se ve incrementado conforme la discretización aumenta, esto podría parecer contradictorio ya que si una estructura es más flexible los esfuerzos deberían disminuir ya que absorben menos energía, pero en este caso al no ser una estructura a base de marcos estructurales, sino a muros de mampostería los cuales están conformados por piezas individuales la inclinación o la deriva de estos incrementa los esfuerzos, ya que las derivas aumentan conforme la discretización es mayor, así como el atraque mecánico proporcionado por el machihembrado de las piezas, que permiten deformarse pero evitan que se despeguen las piezas súbitamente, ya que aunque en las pruebas de los morteros estos no cumplen con la adherencia mínima requerida, aun así el comportamiento global de murete a escala real es satisfactorio.

El último parámetro nos indica que la estructura conforme se incrementa la discretización del mayado la estructura mueve de manera considerable hacia los primeros modos de vibrar la participación de al menos el 90% de la masa, mientras menos se discretiza los elementos la participación se va alejando de los primeros modos. Que se tengan que emplear menos formas modales para alcanzar la participación de masa del 90% conforme la discretización es mayor posiblemente a que las piezas más pequeñas generan un movimiento mucho más armónico, sin necesidad de necesitar mayor número de formas modales.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para el modelado de mampostería autoensamblable marca QualytHome para poder realizar un modelado de una estructura a base de muros de carga serán los siguientes:

1.- Las recomendaciones generales al modelar estructuras a base de muros de mampostería reforzada exterior e interiormente es la de modelar los castillos, ya que esto genera un comportamiento más cercano al real y reduce las derivas, pero para el caso de la mampostería autoensamblable debido al machihembrado y a la obligación de que debe llevar los castillos internos como se indica en el capítulo 1.3, modelar los castillos interiores no es necesario, ya que las propiedades mecánicas globales de la mampostería autoensamblable ya consideran el aporte de estos.

2.- Las dimensiones de la estructura deberá realizar con base en la modulación de los block autoensamblables comerciales de 1,2 y tres machihembrados.

3.- Se deberá modelar la cadena de cerramiento en aberturas de puertas, ventanas y sobre los muros para la recepción de la losa.

4.- Se recomienda que los apoyos de las estructuras a base de muros de mampostería autoensamblable sean articulaciones, ya que estos acercan más a la estructura a un comportamiento más real de un material como la mampostería (anisotrópico).

5.- Una de la recomendaciones principales es sobre el modelado de los elementos placa para la simulación de los muros de mampostería autoensamblable, las dimensiones de las placas deberán ser cercanas a las piezas de mampostería para acercarse a un comportamiento optimo.

6.- El sistema de piso recomendable es aquel que pueda distribuir de la manera más uniforme las cargas y se comporte como un diafragma rígido, además de considerar los claros a cubrir para la selección del sistema de piso.

7.- El uso de aditivos para el mortero con base en las pruebas podrá omitirse ya que el machihembrado compensa en gran parte la unión de la mampostería, pero aun así , esto no quiere decir que el mortero no sea de calidad o que no deba cumplir las normas que apliquen.

IBLIOGRAFÍA

- Gómez, B. et al. (2019). Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural: Edificaciones de Mampostería. Ciudad de México. Limusa.
- Gallegos, H. & Casabonne, C., (2005). Albañilería Estructural. Lima Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Gaceta Oficial del Gobierno de la Ciudad de México, Ciudad de México.
- Gobierno de la Ciudad de México. (2017). Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y construcción de Estructuras de Mampostería. Gaceta Oficial del Gobierno de la Ciudad de México, Ciudad de México.
- Comisión Federal de Electricidad (2015). Manual de Obras Civiles, Capítulo de Diseño por Sismo. Ciudad de México.
- IDC (2019). Reporte técnico para la obtención de las propiedades mecánicas del sistema QualytHome, Atlixco; Puebla.
- IDC (2019). Reporte técnico para la obtención del Proceso Constructivo y resistencia de Muretes de Mampostería, Atlixco; Puebla.
- IDC (2021). Ensaye de muro MM-07 a escala real y máquina de prueba. Comportamiento histerético de muros a escala real reforzados tipo QualytHome, Atlixco; Puebla.
- De Castro, D.V. (2003). Experimental and numerical analysis of blocky masonry structures under cyclic loading. Thesis of Doctor of Philosophy in Civil Engineering. Minho University.
- Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (2017). PRODISIS (Programa de Diseño Sísmico). Ciudad de México.
- CSI Knowledge Base. (2022). ETABS Ultimate 19.0.0. <https://wiki.csiamerica.com/display/etabs/Home>