



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

CAMPUS I



**“EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA
REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE
MAMPOSTERÍA UBICADA EN UNA ZONA DE ALTO
PELIGRO SÍSMICO”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN
CONSTRUCCIÓN**

P R E S E N T A

LUIS JAIRO AGUILAR LÓPEZ PS2392

DIRECTOR DE TESIS

DR. EBER ALBERTO GODÍNEZ DOMÍNGUEZ

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Octubre 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
23 de septiembre del 2024
Oficio No. F.I.01.1552/2024

C. LUIS JAIRO AGUILAR LÓPEZ
ALUMNO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.

Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA UBICADA EN UNA ZONA DE ALTO PELIGRO SÍSMICO”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”

DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTOIS
DIRECTOR



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería, Campus I. UNACH.
Archivo/minutario
DACC/HMSG/snv*

Teléfonos (961) 617-80-00 ext. 5363. (961) 615-03-22 ext. 101. Correo: facing@unach.mx www.ingenieria.unach.mx
Boulevard Benito Juárez, Km 10.5, Sin número. | Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. C.P. 29000. | www.unach.mx



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

La alumna (s) o él alumno (s) LUIS JAIRO AGUILAR LÓPEZ, autora (s) o autor (es) de la tesis bajo el título de "EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA REHABILITACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA UBICADA EN UNA ZONA DE ALTO PELIGRO SÍSMICO" presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 02 días del mes de OCTUBRE del año 2024.

LUIS JAIRO AGUILAR LÓPEZ

Nombre y firma de la alumna (s) o él alumno (s)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), por permitirme continuar mi formación profesional en el área de la ingeniería, abriendo las puertas de su casa de estudios para ser mi segunda alma mater.

Al Dr. Eber Alberto Godínez, por transmitirme la pasión a la enseñanza, por la paciencia en cada una de sus cátedras, por el tiempo y la exigencia para lograr un trabajo que brinde un aporte al área de la Ingeniería Estructural.

Al Dr. Moisés Nazar Beutelspacher y a la M.I. Nayeli Audelia López Borrallas, por la humildad y paciencia para instruirme en diversos temas de la ingeniería estructural, agradezco el tiempo brindado y la bondad para compartir sus conocimientos.

A mi familia, por siempre estar ahí, acompañándome aún en la distancia, por la exigencia de lo que esperan de un profesional.

A la Dra. Flor Magali Aguilar López, por ser esa persona que siempre me inspira a seguirme superando, y por enseñarme que, los grandes profesionales siempre mantienen un espíritu de servicio y humildad.

A mis amigos, por su acompañamiento en los momentos de estrés, por los comentarios de apoyo en la dificultad, por ser grandes compañeros de vida.

A mis compañeros ingenieros, de la Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción, por los momentos compartidos, por el apoyo en cada una de las clases, por el acompañamiento aún en la distancia y por no desistir a pesar de las dificultades que la pandemia COVID-19 representó.

Luis Jairo Aguilar López

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de la capacidad sismo resistente de una vivienda, diseñada con un sistema estructural de muros de mampostería confinada, localizada en una zona de alto peligro sísmico. La vivienda analizada, es representativa del tipo de vivienda que predomina en el sureste de la república mexicana. Las cuales carecen de control de calidad en los materiales empleados, deficiencias en la supervisión de los procesos constructivos y diseños arquitectónicos que carecen de los elementos estructurales mínimamente necesarios para que la estructura cuente con una resistencia y rigidez necesarias para hacer frente a las exigencias sísmicas que puedan presentarse.

Se presentan los métodos de rehabilitación más estudiados para estructuras de mampostería. En el presente estudio, se consideró el encamisado de muros con mortero, reforzado con malla electrosoldada de distintos calibres. Los aspectos considerados para la elección del método de rehabilitación más adecuado a las exigencias sísmicas y a la función de la estructura, fueron:

Incrementar las propiedades físicas de la estructura (resistencia y rigidez), mantener la funcionalidad de la estructura, evitar los cambios en el diseño y distribución de espacios de la vivienda y verificar qué la relación costo-beneficio sea viable.

Finalmente, se presentan conclusiones que engloban desde el análisis de la estructura, elección y aplicación del método de rehabilitación, propuesta económica, esto con la finalidad de aportar elementos que faciliten la toma de decisiones al momento de llevar a cabo un proceso de rehabilitación de una vivienda, ya que en la actualidad existe un gran número de personas habitando en construcciones en situación de riesgo.

ABSTRACT

This work presents the analysis of the seismic-resistance capacity of a masonry building, located in an area of high seismic danger. The house analyzed is representative of the type of housing that predominates in the southeast of the Mexican Republic. Which lack quality control in the materials used, deficiencies in the supervision of the construction processes and architectural designs that lack the minimally necessary structural elements so the structure has no the strength and stiffness necessary to resist the seismic demands that can be presented.

The most studied rehabilitation methods for masonry structures are presented. In the present study, cover walls with mortar, reinforced with electro-welded mesh of different calibers, was considered. The aspects considered for choosing the rehabilitation method most appropriate to the seismic requirements and the function of the structure, were:

Increase the physical properties of the structure (strength and stiffness), maintain the functionality of the structure, avoid changes in the design and distribution of spaces in the home and verify that the cost-benefit relationship is viable.

Finally, conclusions are presented that start from the analysis of the structure, choice and application of the rehabilitation method and economic proposal. The purpose is providing elements that make easier to take decisions when carrying out a rehabilitation process of a housing.

ÍNDICE DE FIGURAS

	<i>Página</i>
Figura 1.1 Placas oceánicas que convergen en la República Mexicana (Servicio Sismológico Nacional, 2020). _____	18
Figura 2.1 Mampostería simple (Preciado, 2015). _____	25
Figura 2.2 Estructura de mampostería confinada (Flores, 2007). _____	26
Figura 2.3 Requisitos para mampostería confinada (NTC-DCM, 2020). _____	26
Figura 2.4 Requisitos para mampostería con refuerzo interior (NTC-DCM, 2020). _____	27
Figura 2.5 Modos de falla (adaptado de Jiménez, 2015). _____	30
Figura 3.1 Limpieza de grietas con un compresor de aire (Abarca, 2022) _____	33
Figura 3.2 Preparación de mortero epóxico como sellador de grietas (Abarca, 2022) _____	34
Figura 3.3 Colocación de boquillas con el sello (Abarca, 2022) _____	34
Figura 3.4 Correcta forma de inyección (INIFED, 2020) _____	35
Figura 3.5 Conclusión del proceso de inyección antes del retiro de boquillas y exceso de sello (Abarca, 2022) _____	35
Figura 3.6 Conclusión del proceso de inyección posterior al retiro de boquillas y exceso de sello (Abarca, 2022) _____	36
Figura 3.7 Mezclado del mortero para la inyección en mampostería (Kimia, 2014). _____	37
Figura 3.8 Inserción de boquillas (Kimia, 2014) _____	37
Figura 3.9 Sellado de boquillas (Kimia, 2014) _____	38
Figura 3.10 Inyección de morteros a presión (Kimia, 2014) _____	38
Figura 3.11 Grieta con más de 5 mm de ancho, apta para rehabilitación por medio de inserción de rajuelas (Rocamora, 2014). _____	39
Figura 3.12 Elemento de confinamiento (castillo) de concreto dañado (adaptada de AIS, 2001) _____	41
Figura 3.13 Reemplazo de elementos de concreto (adaptada de AIS, 2001) _____	41
Figura 3.14 Unión de refuerzo de acero nuevo con refuerzo existente (adaptada de AIS, 2001) _____	42
Figura 3.15 Encamisado de muros de mampostería (INIFED, 2014). _____	43

Figura 3.16	Proceso de refuerzo con malla y mortero (CENAPRED, 2022)	44
Figura 3.17	Inserción de barras de refuerzo en muro de mampostería (Gómez et al., 2019)	45
Figura 4.1	Plano arquitectónico del proyecto, planta baja.	47
Figura 4.2	Plano arquitectónico del proyecto, planta alta.	48
Figura 4.3	Fachada principal del proyecto de vivienda.	49
Figura 4.4	Áreas tributarias planta baja.	53
Figura 4.5	Áreas tributarias planta alta.	54
Figura 4.6	Muros paralelos al eje X (color naranja) y muros paralelos al eje Y (color amarillo).	64
Figura 4.7	Regionalización Sísmica de la República Mexicana (MDOC-15, 2015)	68
Figura 4.8	Asignación de la ubicación donde está ubicada la estructura en estudio en el PRODISIS.	70
Figura 4.9	Caracterización del terreno de cimentación en PRODISIS.	71
Figura 4.10	Obtención del espectro de diseño modificado en PRODISIS.	72
Figura 4.11	Regionalización sísmica de la República Mexicana y parámetros para el espectro de diseño para estructuras del grupo B (MDOC-93, 1993).	75
Figura 5.1	Asignación de propiedades del material de concreto $F'c = 200 \text{ kg/cm}^2$.	83
Figura 5.2	Asignación de propiedades del material de concreto $F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.	84
Figura 5.3	Asignación de propiedades del material mampostería.	84
Figura 5.4	Definición de secciones para elementos confinantes de concreto.	85
Figura 5.5	Definición de espesor y material de muros.	85
Figura 5.6	Definición de las propiedades de losas.	86
Figura 5.7	Modelo de casa habitación de mampostería confinada (vista frontal).	86
Figura 5.8	Modelo de casa habitación de mampostería confinada (vista trasera).	87
Figura 5.9	Definición del caso de carga de peso propio.	88
Figura 5.10	Definición del caso de carga de sobrecarga muerta.	88
Figura 5.11	Definición del caso de carga de sobrecarga variable máxima.	89
Figura 5.12	Definición del caso de carga de sobrecarga variable instantánea.	89

Figura 5.13	Definición del espectro sísmico en RSAP. _____	90
Figura 5.14	Distorsiones obtenidas de RSAP. _____	92
Figura 5.15	Cortante basal dinámico en dirección X. _____	93
Figura 5.16	Cortante basal dinámico en dirección Y. _____	93
Figura 5.17	Aceleración correspondiente al periodo de vibración principal de la estructura en dirección X (T= 0.108 seg), dentro del espectro sísmico. _____	94
Figura 5.18	Aceleración correspondiente al periodo de vibración principal de la estructura en dirección Y (T=0.093 seg), dentro del espectro sísmico. _____	95
Figura 5.19	Cortante basal dinámico en dirección X. _____	99
Figura 5.20	Cortante basal dinámico en dirección Y. _____	99
Figura 5.21	Fuerzas cortantes en muros de mampostería en dirección X. ____	100
Figura 5.22	Fuerzas cortantes en muros de mampostería en dirección Y. ____	100
Figura 6.1	Colocación de malla de refuerzo en muro de mampostería con aberturas (CENAPRED, 2013). _____	106
Figura 6.2	Colocación de la capa de mortero en muros de mampostería con refuerzo de malla (CENAPRED, 2013). _____	107
Figura 6.3	Propuesta de encamisado de muros de mampostería con malla electrosoldada y mortero en planta baja. _____	110
Figura 6.4	Propuesta de encamisado de muros de mampostería con malla electrosoldada y mortero en planta alta. _____	111
Figura 6.5	Vista frontal del modelo 3D de la vivienda en estudio, sin aplanados existentes. 112	
Figura 6.6	Pasos del proceso de encamisado de muros de mampostería. ____	113
Figura 6.7	Dimensiones y pesos teóricos de mallas electrosoldadas (MIPSA, 2023). _____	114
Figura A.1	Gráfico comparativo demandas por fuerzas cortantes calculadas por medio de un análisis dinámico vs cortantes calculadas por medio del MS. ____	157
Figura A.2	Cocientes de fuerzas cortantes obtenidas por análisis dinámico y fuerzas cortantes obtenidas por el MS en cada muro. _____	158
Figura A.3	Cocientes de fuerzas cortantes obtenidas por análisis dinámico y fuerzas cortantes obtenidas por el MS en función de la relación de esbeltez de cada muro. 159	

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 4.1	Análisis de cargas muertas de losa de azotea. _____	51
Tabla 4.2	Análisis de cargas muertas de losa de entrepiso. _____	51
Tabla 4.3	Cargas vivas máximas e instantáneas para losas de entrepiso y de azotea de casa habitación. _____	52
Tabla 4.4	Factores de carga para combinaciones que incluyen acciones permanentes y variables. _____	52
Tabla 4.5	Obtención de la resistencia de diseño de los muros de la vivienda	57
Tabla 4.6	Obtención de las cargas de servicio de cada uno de los muros de la vivienda.	58
Tabla 4.7	Revisión de resistencia contra carga actuante de cada uno de los muros de la vivienda. _____	59
Tabla 4.8	Revisión de resistencia contra carga actuante acumulada en los muros de planta baja de la vivienda. _____	60
Tabla 4.9	Análisis de la excentricidad torsional en dirección Y. _____	65
Tabla 4.10	Análisis de la excentricidad torsional en dirección X. _____	65
Tabla 4.11	Intensidad sísmica conforme a la regionalización sísmica de la República Mexicana (MDOC-15, 2015) _____	68
Tabla 4.12	Factores reductores para el método simplificado (MDOC-15, 2015).	69
Tabla 4.13	Reporte de resultados obtenido de PRODISIS. _____	72
Tabla 4.14	Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección X. _____	77
Tabla 4.15	Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección Y. _____	78
Tabla 4.16	Tabla comparativa de la fuerza cortante actuante en la base de muros y cortante resistente. _____	80
Tabla 5.1	Revisión de distorsión admisible para cada entrepiso para el estado límite de prevención del colapso. _____	92
Tabla 5.2	Aceleraciones asociadas a los periodos de vibración de la estructura en cada dirección principal. _____	94
Tabla 5.3	Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección X. _____	98
Tabla 5.4	Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección Y. _____	98

Tabla 5.5	Fuerzas cortantes actuantes en muros obtenidas de RSAP y fuerzas cortantes resistentes de muros.	102
Tabla 6.1	Comparativa de fuerzas cortantes actuantes en cada muro provocadas por efectos dinámicos contra fuerzas cortantes resistentes de cada muro.	109
Tabla 6.2	Fuerzas cortantes resistentes de cada uno de los muros rehabilitados.	118
Tabla 6.3	Comparativa de la fuerza cortante resistente de los muros de mampostería rehabilitados con malla de alambre de acero electrosoldada frente a las fuerzas cortantes actuantes por efectos estáticos y dinámicos.	119
Tabla 7.1	Catálogo de conceptos del proyecto de rehabilitación	123
Tabla 7.2	Formato de números generadores para el concepto de desmontaje de puertas y ventanas.	125
Tabla 7.3	Formato de números generadores para el concepto de demolición de aplanados existentes.	126
Tabla 7.4	Formato de números generadores para el concepto de acarreos de material producto de la demolición.	128
Tabla 7.5	Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/6-6.	130
Tabla 7.6	Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/4-4.	130
Tabla 7.7	Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/2-2.	131
Tabla 7.8	Formato de números generadores para el concepto montaje de puertas y ventanas.	132
Tabla 7.9	Listado de precios de materiales sin IVA.	133
Tabla 7.10	Básico de mortero cemento:cal:arena proporción 1: ¼: 3.75 (precio por m ³)	134
Tabla 7.11	Cuadrilla de trabajo 01.	135
Tabla 7.12	Cuadrilla de trabajo 02.	135
Tabla 7.13	Cálculo de los días realmente pagados contra los días realmente laborados.	136
Tabla 7.14	Tabla de cálculo del Factor de Salario Real (FSR)	137
Tabla 7.15	Descripción de la maquinaria para análisis de costo horario.	138
Tabla 7.16	Análisis de costo horario.	139

Tabla 7.17	Matriz de precio unitario de desmontaje de puertas y ventanas. _	141
Tabla 7.18	Matriz de precio unitario del concepto de demolición de aplanados existentes. 142	
Tabla 7.19	Matriz de precio unitario del concepto de acarreo de material producto de la demolición. _____	143
Tabla 7.20	Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/6-6. _____	144
Tabla 7.21	Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/4-4. _____	145
Tabla 7.22	Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/2-2. _____	146
Tabla 7.23	Matriz de precio unitario del concepto de montaje de puertas y ventanas. 147	
Tabla 7.24	Presupuesto de proyecto de rehabilitación. _____	149

ÍNDICE

Página

CAPÍTULO 1.	15
INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes	16
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos	21
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	21
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	21
1.4 Hipótesis	22
1.5 Alcances y limitaciones	22
1.6 Organización de la tesis	22
CAPÍTULO 2.	24
ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMAS A BASE DE MAMPOSTERÍA	24
2.1 Mampostería simple	25
2.2 Mampostería confinada	25
2.3 Mampostería reforzada interiormente	27
2.4 Modos de falla en mampostería	28
CAPITULO 3.	31
TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERIA.	31
3.1 Inyección de Grietas.	33
3.1.1 <i>Recomendaciones para inyección con resinas o morteros epóxicos</i>	33
3.1.2 <i>Recomendaciones para inyección de morteros fluidos de cemento.</i>	37
3.2 Reparación de grietas con rajuelas	39
3.3 Reemplazo de elementos de concreto	40
3.4 Encamisado de muros	42
3.5 Inserción de barras de Refuerzo	45
CAPÍTULO 4.	46
CASO DE ESTUDIO: ANÁLISIS DE PROYECTO DE VIVIENDA.	46
4.1 Introducción	47
4.2 Revisión por Cargas Verticales	50
4.2.1 <i>Análisis de Cargas</i>	50
4.2.2 <i>Áreas Tributarias</i>	53
4.3 Análisis Sísmico	61
4.3.1 <i>Método Simplificado.</i>	62
4.3.2 <i>Revisión de la excentricidad torsional.</i>	64
4.3.3 <i>Aplicación del método simplificado.</i>	67
4.3.4 <i>Revisión de demandas estimadas mediante el MS contra capacidades por fuerza cortante.</i>	75

CAPÍTULO 5.	82
ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL DE LA VIVIENDA.	82
5.1 Introducción.	83
5.2 Caracterización de los materiales.	83
5.3 Definición de las secciones de los elementos que integran el modelo.	85
5.4 Definición de casos de carga.	87
5.5 Definición de análisis modal espectral.	89
5.6 Definición de combinaciones de carga.	91
5.7 Resultados del análisis modal espectral.	91
5.7.1 Revisión de distorsiones de entrepiso	91
5.7.2 Revisión de cortantes basales estáticos y dinámicos.	92
5.7.3 Revisión de la fuerza cortante basal dinámica obtenida del modelo en RSAP, contra el cortante resistente en la base, en cada dirección.	97
5.7.4 Revisión por fuerza cortante en muros.	100
CAPÍTULO 6.	104
PROPUESTA DE REHABILITACIÓN	104
6.1 Procedimiento para la rehabilitación de muros de mampostería confinada adicionando malla electrosoldada cubierta con mortero.	105
6.2 Refuerzo con malla electrosoldada cubierta con mortero aplicado al proyecto en estudio.	107
CAPÍTULO 7.	121
PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN.	121
7.1 Catálogo de conceptos para el proyecto de rehabilitación.	122
7.2 Formatos generadores para el proyecto de rehabilitación.	124
7.3 Costo directo	133
7.3.1 Materiales	133
7.3.2 Mano de obra	134
7.3.3 Costo horario	138
7.4 Factor de sobre costo	140
7.5 Matrices de precios unitarios	140
7.6 Presupuesto de la rehabilitación	148
CAPÍTULO 8.	150
CONCLUSIONES	150
Referencias y Bibliografía	153
APÉNDICE A.	156
COMPARATIVA DE LAS DEMANDAS DE FUERZAS CORTANTES EN LA ESTRUCTURA.	156
MÉTODO DINÁMICO MODAL ESPECTRAL VS MÉTODO SIMPLIFICADO.	156

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Una edificación basada en un sistema estructural de mampostería, es muy común en países en desarrollo, y aunado al alto peligro sísmico al que están expuestos, existen ciertas condiciones que propician que las estructuras puedan ser vulnerables, definiendo esto como un alto riesgo sísmico.

Este sistema de estructuración ha evolucionado de un proceso constructivo informal a un proceso constructivo reglamentado, basado en su gran desempeño ante sismos pasados. (Brzev & Hart, 2017).

Dicho sistema estructural basado en mampostería, representa tradición, por ejemplo, en países como Chile y Colombia este sistema se ha utilizado desde 1930 y en México la mampostería comenzó a utilizarse desde 1940 (Brzev & Perez, 2014).

En México la mampostería ha sido uno de los sistemas más empleados en la construcción para diversas edificaciones, debido a que cuando se diseña y construye adecuadamente ha tenido una buena respuesta ante eventos sísmicos, también por los materiales que se emplean ya que son considerados económicos y por el fácil manejo de los mismos (Ramírez-Quintero, 2022).

Existen diferentes tipos de sistemas estructurales basados en mampostería, pudiendo identificarse con claridad los siguientes: mampostería simple o no reforzada, mampostería confinada y mampostería reforzada.

En la zona sureste de México, principalmente en el estado de Chiapas, los muros de mampostería de las construcciones urbanas son contruidos en su mayoría usando piezas elaboradas de forma artesanal, y únicamente en algunos casos con piezas elaboradas bajo procesos industrializados; estas piezas pueden ser: ladrillos de arcilla y bloques de concreto sólidos o huecos y, tabicones. Existen además algunas propuestas arquitectónicas en que se recurre a piezas de adobe, evidentemente, sin control de calidad, ni una ficha técnica del producto. Estas piezas van unidas por juntas de mortero de baja resistencia, debido a una falta de control de calidad en el proceso constructivo (Godínez-Domínguez et al., 2021). Como consecuencia de esto, muchas estructuras de mampostería (principalmente destinadas a vivienda) localizadas en el sureste de México han sufrido daños durante eventos sísmicos de gran intensidad; muestra de esto es lo ocurrido durante el sismo de 1995 (González et al., 1995) o más recientemente, durante el sismo del 7 de septiembre de 2017, en que miles de viviendas resultaron con daños graves o colapsos (Godínez-Domínguez et al., 2021).

1.2 Justificación

A nivel mundial han ocurrido muchos sismos intensos, dentro de los cuales destacan los siguientes principalmente por sus enseñanzas al área de la ingeniería sísmo-resistente, más que por su magnitud o intensidad exclusivamente (Tena-Colunga, 2004).

1985 Valparaíso, Chile

1985 Michoacán, México

1989 Loma prieta, California

1994 Northridge, California

1995 Kobe, Japón

1995 Manzanillo, México

1999 Armenia, Colombia

1999 Izmit (Kocaeli), Turquía

1999 Chi chi, Taiwan

2003 Bam, Irán

Estos sucesos han dejado incalculables pérdidas humanas, así como pérdidas económicas que han detenido el desarrollo de muchos países. Así también, estos sucesos han permitido desarrollar herramientas que han permitido hacer estudios de vulnerabilidad estructural cada vez más completos y confiables (Tena-Colunga, 2004).

La república mexicana está ubicada en una las regiones sísmicamente más activas del mundo, conocida como Cinturón Circumpacífico o Cinturón de Fuego. Dicha región se extiende por las costas de América del sur, México y California, hasta Alaska, continuando por las islas Aleutianas y dirigiéndose al sur a través de Japón y las Indias orientales. En esta región se libera del 80 al 90% de la energía sísmica anual de la tierra (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

Según el Servicio Sismológico Nacional (2022), Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Michoacán, Colima y Jalisco son los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana debido a la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica y del Caribe sobre la costa del Pacífico frente a estos estados, como se aprecia en la figura 1.1. Por esta misma acción son afectados los estados de Veracruz, Tlaxcala, Morelos, Puebla, Nuevo León, Sonora, Baja California, Baja California Sur y Ciudad de México.

Como consecuencia de esto, en México han ocurrido sismos muy fuertes, por ejemplo (Tena-Colunga, 2004):

1957 Sureste de acapulco, Guerrero

1979 Petatlán, Guerrero

1985 Costas de Michoacán

1989 Guerrero

1999 Tehuacán, Puebla

2003, Tecomán, Colima

2012 Ometepec, Guerrero

2017 Golfo de Tehuantepec.

2019 Puebla

Estas acciones accidentales han afectado seriamente la infraestructura del país y causando un gran número de pérdidas de vidas humanas. (Godínez 2005; Tena-Colunga et al. 2020, 2021, 2022; Godínez-Domínguez et al., 2021).

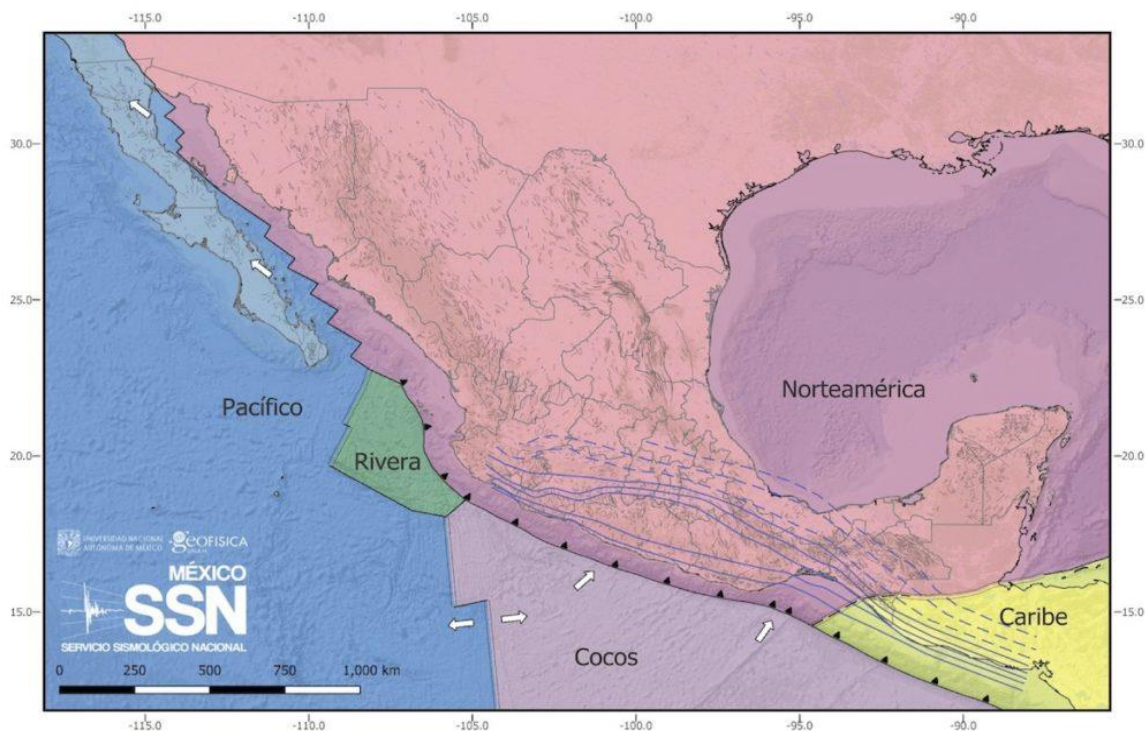


Figura 1.1 Placas oceánicas que convergen en la República Mexicana (Servicio Sismológico Nacional, 2020).

Por lo anterior, en México se ha trabajado en el desarrollo de alertas sísmicas, mejoramiento de los reglamentos de construcción y en el estudio de sistemas estructurales vulnerables ante sismos, así como el desarrollo de nuevas tecnologías, pese a los esfuerzos realizados, las exigencias en materia de seguridad ante sismos, son cada vez mayores. Con cada suceso accidental ocurrido se confirma que, en México, se deben aplicar altos estándares de supervisión en los procedimientos constructivos, así como en los procesos de fabricación de materiales para la construcción, filosofía y proceso de diseño estructural. Otro aspecto que es relevante, y que muchas veces no suele considerarse, radica en la propuesta arquitectónica, pues la irregularidad estructural ha mostrado tener gran influencia en la respuesta negativa de los sistemas estructurales (Godínez-Domínguez et al., 2021; Tena-Colunga, 2004; Tena-Colunga & Hernández-García, 2016; Tena-Colunga & Hernández-García, 2022).

Varios eventos sísmicos han dejado cuantiosas pérdidas humanas, así como pérdidas materiales, dejando también un gran número de viviendas, en su mayoría estructuradas con elementos de mampostería, en situación de riesgo. (Linares, 2018) afirma que, entre 2017 y 2018, el gobierno aprobó más de 9440 millones de pesos (casi 500 millones de dólares) para enfrentar la devastación causada por los terremotos en Ciudad de México.

Los resultados para la validación de la comisión para la reconstrucción, indican que después de dos años del sismo de 2017, el proceso de rehabilitación había sido muy lento, provocando que muchas familias mexicanas siguieran viviendo fuera de sus casas y algunos otros permanecían habitando sus viviendas con riesgo de colapsar sin tener un dictamen o diagnóstico del riesgo estructural. A la fecha, no se ha completado la reconstrucción planificada en Ciudad de México derivada del sismo del 19 de septiembre de 2017. En Chiapas y Oaxaca algo similar se observó a raíz del sismo del 7 de septiembre de 2017.

Una vivienda es un espacio, el cual está destinado al resguardo de sus habitantes, brinda protección de las inclemencias meteorológicas, permite que los habitantes cubran sus necesidades fisiológicas en condiciones óptimas para el cuidado de la salud, y en el lenguaje técnico, es un espacio delimitado por muros y techo, del material que el propietario disponga.

Al año 2020, en México existen más de 35, 219,141 viviendas habitadas (INEGI, 2020). Del total de viviendas habitadas, el 92% de estas tienen paredes construidas de tabique, ladrillo, block, piedra o cantera. El 4% tiene paredes de adobe, el 3% tiene paredes de madera y el 1% son paredes de lámina, carrizo, bambú o bajareque.

El techo de las viviendas también se compone de materiales diversos, a nivel nacional 79 % son de losa de concreto, 17 % de lámina, 2 % de madera o tejamanil y también con 2 % de material de desecho, palma, paja y teja.

En la capital de la República Mexicana al año 2020, existen 2, 756, 319 viviendas habitadas ocupando así la Ciudad de México el segundo lugar a nivel nacional de viviendas habitadas. En dicha ciudad el 99.2% de sus edificaciones de vivienda tienen paredes de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera o concreto y el 94.6% tiene techos de concreto o de vigueta y bovedilla.

El estado de Chiapas, el cual al año 2020 cuenta con 1,351,023 viviendas ocupadas. Dicha entidad ocupa el octavo lugar a nivel nacional de viviendas habitadas. Del total de viviendas habitadas en esta entidad el 78.3% de sus edificaciones de vivienda tienen paredes de tabique, ladrillo, block, piedra, cantera o concreto, el 58.5% tiene techos de concreto o de vigueta y bovedilla, el 41.5% restante son techos de lámina, de madera, palma, teja, etc.

El estado de Chiapas está ubicado en la zona sureste de la república mexicana, la cual se caracteriza por altos niveles de pobreza entre sus habitantes aunado a que se encuentra en una zona de alta sismicidad, se ha observado que los principales daños son debidos a inadecuados procesos constructivos, diseños estructurales deficientes y baja calidad de los materiales (Godínez-Domínguez et al., 2021).

Esto ha llevado a la conformación de campañas de rehabilitación de viviendas de mampostería afectadas por eventos sísmicos en diversos periodos dentro del estado. Una intervención de rehabilitación tiene el objetivo de mejorar el comportamiento de la estructura o de reparar los daños en la estructura. En Chiapas, debido a su posición geográfica y riesgo sísmico que esta representa, más las técnicas deficientes de diseño y ejecución de los trabajos constructivos, es importante evaluar si las propuestas de rehabilitación aplicadas mejoran el desempeño de la estructura y brindan seguridad a sus habitantes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar la propuesta y diseño de la rehabilitación de una estructura de mampostería confinada destinada a vivienda.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Tipificar los daños estructurales más comunes causados por acciones sísmicas, en edificaciones de mampostería.
- b) Evaluar el diseño estructural de un proyecto de vivienda basado en un sistema de mampostería confinada.
- c) Elaborar una propuesta de rehabilitación sismo-resistente para una vivienda tradicional basada en un sistema estructural de mampostería confinada.
- d) Analizar el comportamiento de la estructura de mampostería rehabilitada.
- e) Elaborar una propuesta económica del proyecto de rehabilitación.
- f) Analizar la relación costo- beneficio de un proyecto de rehabilitación de una vivienda en una zona de alto peligro sísmico.

1.4 Hipótesis

La propuesta de rehabilitación cumple con los parámetros sismo-resistentes de la normatividad vigente, es viable tanto en el aspecto estructural y económico, accesible y adecuada para un proyecto de vivienda tradicional basada en un sistema estructural de mampostería confinada localizado en una zona altamente sísmica del estado de Chiapas. Además, se consideran válidas las hipótesis de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México.

1.5 Alcances y limitaciones

- a) Tipificar los daños más comunes en edificaciones de mampostería.
- b) Revisión del comportamiento sísmico de una edificación de vivienda tradicional, basada en un sistema estructural de mampostería confinada.
- c) Selección y diseño de un tipo de rehabilitación viable.
- d) Analizar el comportamiento de la estructura de mampostería rehabilitada.
- e) Analizar la viabilidad del proyecto de rehabilitación, desde el aspecto económico.

1.6 Organización de la tesis

En el capítulo uno de este trabajo de investigación se explica como el sistema de estructuración basado en mampostería ha evolucionado de un proceso constructivo informal a un proceso constructivo reglamentado, ya que este sistema ha demostrado un gran desempeño ante sismos que han ocurrido a lo largo del tiempo.

En el capítulo dos, se ejemplifican los diferentes sistemas de estructuración a base de mampostería y se describen y ejemplifican los modos de falla de la mampostería.

En el capítulo tres, se describen las intervenciones estructurales aplicadas para rehabilitaciones sísmicas, las cuales buscan mejorar el comportamiento de la estructura para que sean capaz de satisfacer las demandas provocadas por sismos.

En el capítulo cuatro, se describe el diseño arquitectónico y la configuración de la estructuración de la vivienda en estudio. Se realiza la revisión por cargas verticales y se realiza el análisis sísmico de la vivienda. Se presenta una comparativa de la estimación de demandas por fuerzas cortantes en muros, obtenidos por el método simplificado y por el método dinámico modal espectral (con base en un modelo de columnas anchas en 3D).

En el capítulo cinco, se detalla el proceso de análisis sísmico de la vivienda en estudio, mediante un modelo dinámico espectral, dicho modelo se realiza con el software Robot Structural Analysis Professional (RSAP).

En el capítulo seis, se realiza la propuesta de rehabilitación de la vivienda en estudio, la cual se basa en la adición de malla electrosoldada de diferentes calibres, cubierta con mortero.

En el capítulo siete se realiza el presupuesto del proyecto de rehabilitación propuesto en el capítulo anterior, esto con la finalidad de analizar la relación costo-beneficio, ya que actualmente es poca la información disponible en lo que refiere al aspecto económico en materia de rehabilitación de estructuras en el área de la construcción.

En el capítulo ocho se presentan las conclusiones sobre la relación costo-beneficio de la propuesta de rehabilitación planteada para mejorar las propiedades de resistencia de la estructura de vivienda, dentro de las conclusiones se realiza la comparativa del costo de llevar a cabo la propuesta de rehabilitación en comparación con el costo promedio de una vivienda en México de las características de la vivienda en estudio.

CAPÍTULO 2.

ESTRUCTURACIÓN DE SISTEMAS A BASE DE MAMPOSTERÍA

2.1 Mampostería simple

El tipo de estructuración basado en mampostería simple o no reforzada, contienen techos simplemente apoyados, elaborados con materiales de baja calidad. Los techos, en su mayoría, son de madera y teja, y en algunos casos son losas de concreto reforzado, como se observa en la figura 2.1. Este tipo de estructuración es muy utilizado en zonas rurales.



Figura 2.1 Mampostería simple (Preciado, 2015).

2.2 Mampostería confinada

La mampostería confinada es más utilizada en áreas urbanas. Este tipo de estructuración es la solución más empleada en México (cuando se emplea personal técnico especializado) para el diseño y la construcción de estructuras de diversos usos (principalmente vivienda).

En este tipo de estructuración, la mampostería se encuentra rodeada o confinada por elementos de concreto reforzado de sección transversal relativamente pequeña (Figura 2.2).

La función de estos elementos de confinamiento es dar continuidad a los muros entre sí y a su vez con los sistemas de entrepiso. También brinda mayor capacidad de resistencia, de deformación y de disipación de energía ante fuerzas laterales, como las inducidas por sismo. En la figura 2.3 se observan los criterios con los que

una estructura de mampostería confinada (EMC) debe cumplir para brindar seguridad estructural.



Figura 2.2 Estructura de mampostería confinada (Flores, 2007).

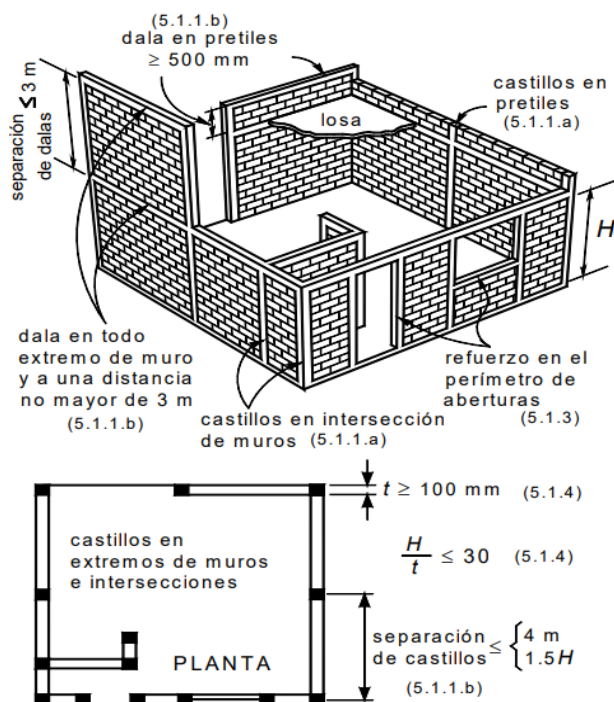


Figura 2.3 Requisitos para mampostería confinada (NTC-DCM, 2020).

2.3 Mampostería reforzada interiormente

Es aquella con muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se distribuye a lo alto y largo del muro (NTC-DCM, 2020).

En la figura 2.4 se muestran los requisitos para mampostería con refuerzo interior que indican las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería en su versión 2020 (NTC-DCM, 2020).

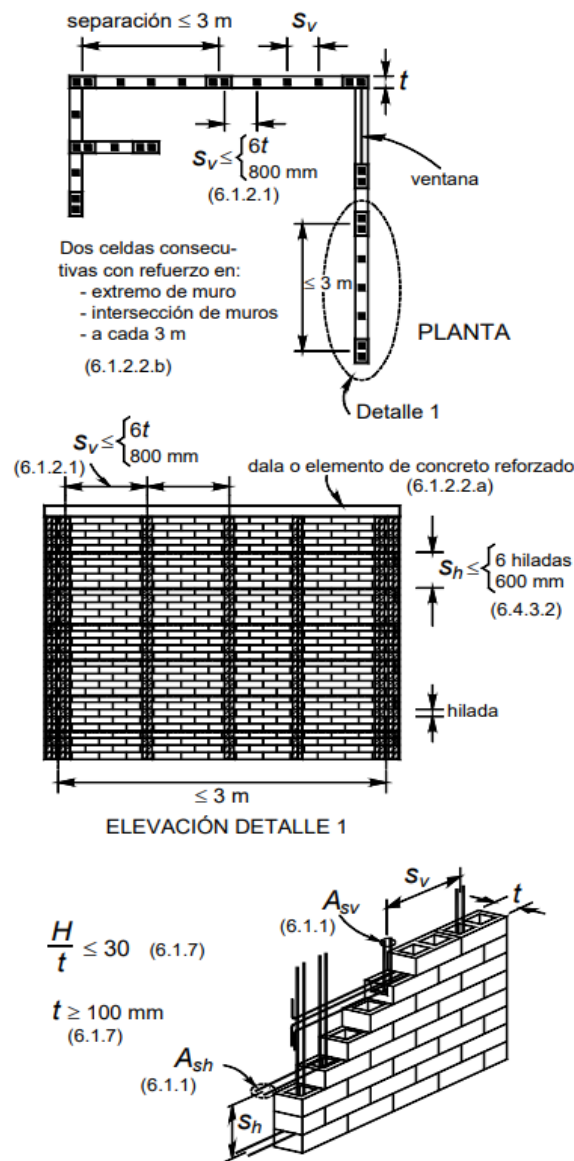


Figura 2.4 Requisitos para mampostería con refuerzo interior (NTC-DCM, 2020).

2.4 Modos de falla en mampostería

En México, con base en los avances del conocimiento en el campo de la especialidad a nivel nacional e internacional, se han emitido reglamentos, tal es el caso de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCM, 2020), para la construcción de sistemas basados en mampostería confinada o reforzada interiormente, ya que la mampostería simple está prohibida debido a la baja resistencias ante fuerzas producidas por sismos. Los reglamentos en México, como en otras partes del mundo, han evolucionado a través de los años con el fin de tener estructuras más seguras, retomando las experiencias de sismos fuertes y los avances derivados de estudios analíticos y/o experimentales.

Uno de los principales problemas en México, específicamente en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, es que, en muchas de las edificaciones de vivienda, aunque, se intenta seguir un diseño estructural basado en mampostería confinada, los requisitos necesarios para considerarla como tal no se cumplen. Esto se debe a múltiples factores como: la autoconstrucción, el desconocimiento de la normatividad vigente del personal técnico responsable, falta de asesoría técnica por profesionales en el área de la construcción, diseños deficientes, uso de materiales de baja calidad y procesos constructivos deficientes que ponen el riesgo la edificación ante cargas sísmicas.

En los casos más favorables, esto deriva en daños estructurales como son: fallas por deslizamiento, fallos por cortante y fallas por flexión, los cuales son visibles en forma de fisuras, grietas, desprendimientos de los elementos de mampostería y confinantes. En el escenario más desfavorable esto puede derivar en colapsos parciales o totales de la edificación. Al tener cualquiera de estos daños estructurales, es necesario evaluar la estructura para decidir si resulta técnica y económicamente viable realizar un proceso de rehabilitación, o en su caso la demolición total (Alcocer, 2004).

El término rehabilitación hace referencia al proceso de reparación de las distintas fallas (restitución de la capacidad original de un elemento dañado) y de refuerzo (incremento de la capacidad sobre los niveles originales) de muros y de la estructura en general (Alcocer, 1997). En este concepto se incluyen modificaciones a la resistencia, rigidez, capacidades de deformación y de disipación de energía; usualmente todas las modificaciones se asocian a un incremento de la capacidad estructural.

Jiménez (2015) , menciona los diferentes modos de falla más comunes en la mampostería confinada, estos dependen de distintos factores. Sabiendo que el colapso de la estructura se puede dar por la combinación de varios modos de falla. Dentro de los distintos modos de falla, tenemos:

1. **Falla por flexión:** Tiende a presentarse en muros esbeltos cuando se generan tensiones importantes en los castillos, el acero con más sollicitación de esfuerzo es el que se encuentra longitudinalmente en la sección que por lo general está ubicado en los castillos. Se produce la fluencia del acero longitudinal y una falla a compresión por flexión en el talón comprimido del muro (Figura 2.5.a). El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y en el centro del muro.
2. **Falla por cortante por adherencia:** se produce por un deslizamiento horizontal a lo largo de la junta de mortero, en donde se presenta una falla por adherencia en la junta (Figura 2.5.b).
3. **Carga vertical:** Se produce por una carga axial muy elevada con el aplastamiento de la mampostería (Figura 2.5.c).
4. **Contracciones:** Se debe a los cambios de temperatura o al fraguado (Figura 2.5.d).
5. **Cortante:** Se caracteriza por un agrietamiento inclinado, que pasa a través de las piezas siguiendo las juntas tanto horizontales como verticales (Figura 2.5.e).
6. **Tensión diagonal:** Se producen agrietamientos inclinados, pero a diferencia de la falla por cortante, las grietas pasan uniformemente por toda la sección (Figura 2.5.f). Este tipo de falla puede generar la situación donde se presentan grandes esfuerzos de compresión en las esquinas inferiores del muro, las cuales pueden provocar la falla por aplastamiento cuando las piezas de mampostería son de baja calidad.

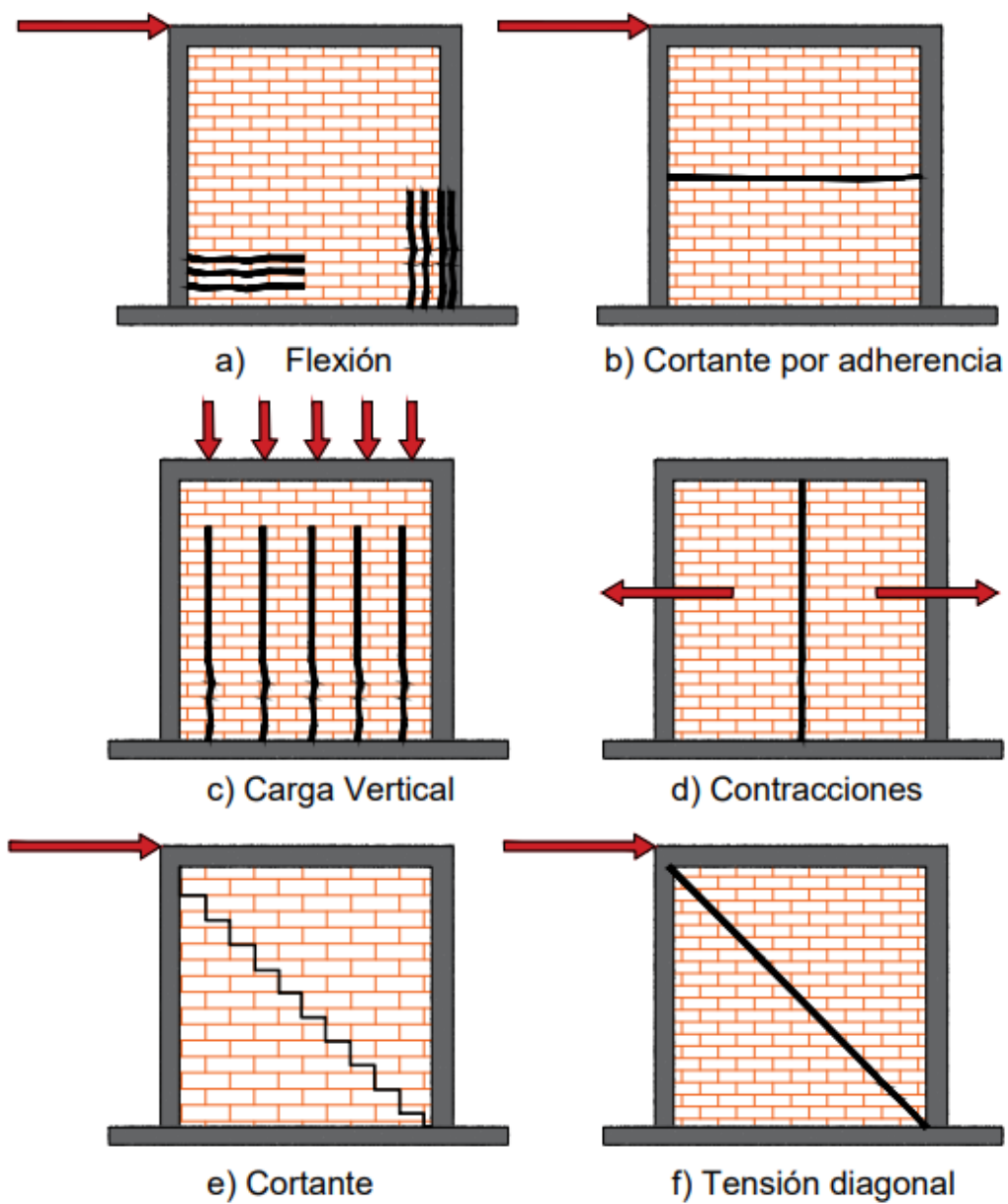


Figura 2.5 Modos de falla (adaptado de Jiménez, 2015).

CAPITULO 3.

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE MUROS DE MAMPOSTERIA.

El conjunto de modificaciones necesarias para mejorar el comportamiento de una estructura ante acciones futuras se denomina rehabilitación estructural. En el caso de la rehabilitación sísmica, se enfoca en las intervenciones necesarias para mejorar el comportamiento de la estructura, para que sea capaz de satisfacer los niveles de desempeño sísmico establecidos (Alcocer, 2004).

Una rehabilitación, inicia con la evaluación de la estructura, con lo que se identifican las posibles debilidades en su comportamiento ante acciones sísmicas. Para poder proponer la metodología de rehabilitación más adecuada, se deben conocer los principios básicos que una estructura de mampostería debe cumplir y sus modos de falla más comunes, para así satisfacer las exigencias que las acciones sísmicas demandan.

Dentro de las consideraciones que se deben tomar en cuenta al realizar una propuesta de rehabilitación, se encuentran: la rentabilidad de la propuesta (aspecto económico), que mejore el comportamiento de la estructura corrigiendo debilidades; sin producir nuevas (aspecto técnico). La propuesta no debe modificar la función y uso de la estructura, cuidando, en la medida de lo posible, la estética y apariencia de la estructura (aspecto arquitectónico).

Para la lograr mejorar el comportamiento de una estructura ante acciones sísmicas, el ingeniero estructural puede: a) incrementar la resistencia, b) incrementar la capacidad de deformación inelástica y, c) incrementar ambas. En general, la propuesta de rehabilitación es función del criterio y experiencia de cada profesional.

Existen varias técnicas ya estudiadas y aplicadas para el proceso de rehabilitación de estructuras de mampostería dañadas por sismo. En muchos casos, la solución puede ser la combinación de una o más de las técnicas que a continuación se describen (Alcocer 2004):

- a. La inyección de grietas.
 - i. Inyección de resinas epóxicas e inyección de morteros epóxicos.
 - ii. Inyección de morteros fluidos de cemento (lechadas).
- b. Reparación de grietas con rajuelas.
- c. Reemplazo de piezas o de concreto.
- d. Encamisado de muros.
- e. Inserción de barras de refuerzo.
- f. Adición de elementos confinantes de concreto reforzado.

3.1 Inyección de Grietas.

Las grietas son la manifestación obvia de daño en un muro de mampostería. Los tipos de reparación más comunes para este tipo de daño son: la inyección y el rajueleo.

3.1.1 Recomendaciones para inyección con resinas o morteros epóxicos

- A mayor anchura de grietas, mayor viscosidad de las resinas.
- La anchura mínima para rellenar grietas a presión es de 0.05 mm y por gravedad es de 0.3 mm.
- Como se observa en la figura 3.1, para la limpieza de las grietas se recomienda aspirar las partículas que se encuentran a lo largo de la grieta (el agua no se aconseja ya que puede perjudicar la adherencia de la resina con el elemento de mampostería).



Figura 3.1 Limpieza de grietas con un compresor de aire (Abarca, 2022)

- Se deben sellar las grietas con una pasta Vinilister o Poliester y colocar boquillas de inyección, en la figura 3.2 se observa el proceso de preparación de mortero epóxico.



Figura 3.2 Preparación de mortero epóxico como sellador de grietas (Abarca, 2022)

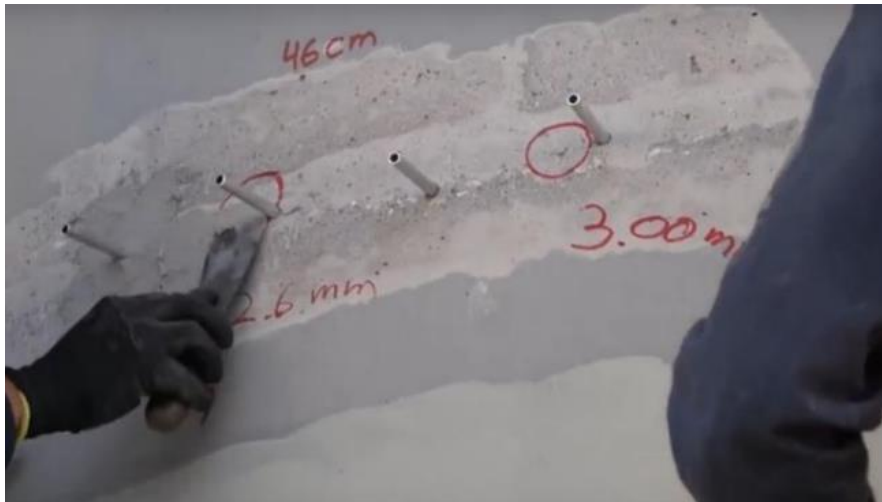


Figura 3.3 Colocación de boquillas con el sello (Abarca, 2022)

- En la figura 3.3, se observa la colocación de boquillas en las cuales se inyecta el mortero epóxico, la grieta queda sellada, para evitar que el mortero se desborde durante el proceso de inyección.
- Se aconseja inyectar la resina de abajo hacia arriba a lo largo de la grieta (figura 3.4).

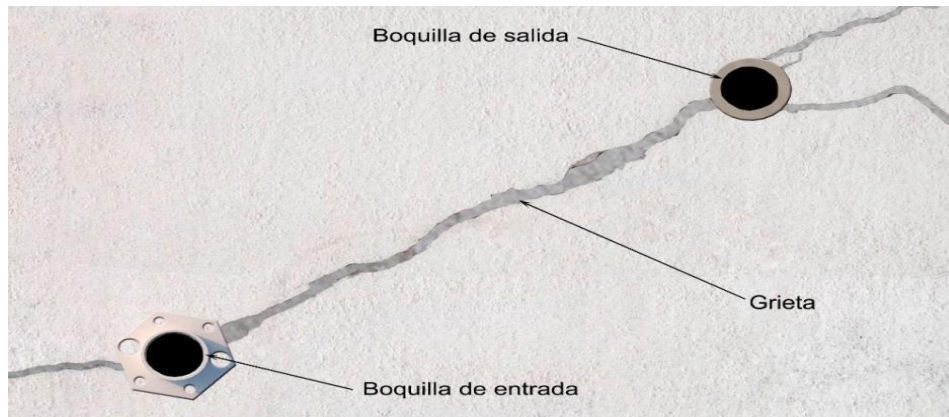


Figura 3.4 Correcta forma de inyección (INIFED, 2020)

- Cuando la resina sale por la boquilla inmediata superior se considera un proceso satisfactorio, en la figura 3.5 se observa el proceso de inyección completado, así como el exceso de sello en las grietas.



Figura 3.5 Conclusión del proceso de inyección antes del retiro de boquillas y exceso de sello (Abarca, 2022)

- Una vez terminada la inyección de grietas en el muro se pueden retirar las boquillas y sellador con calor, obteniendo un resultado como el que se muestra en la figura 3.6.



Figura 3.6 Conclusión del proceso de inyección posterior al retiro de boquillas y exceso de sello (Abarca, 2022)

Estudios previos han demostrado que la inyección de resinas epóxicas, restituye en el elemento de mampostería rehabilitado (Hidalgo et al., 1991):

- Entre el 70 al 90% de la resistencia.
- Entre el 30 al 80% de la rigidez.
- Entre el 75 al 90% de capacidad de deformación del muro.

3.1.2 Recomendaciones para inyección de morteros fluidos de cemento.

- Los morteros o lechadas deben ser inyectables (contener partículas pequeñas), estables y resistentes. Deben fluir a través de grietas y vacíos, como la mezcla mostrada en la figura 3.7.
- Deben tener una baja segregación, sangrado controlado y reducida contracción plástica.
- Diseño correcto para ser inyectables en grietas de 0.08 mm a 12 mm.



Figura 3.7 Mezclado del mortero para la inyección en mampostería (Kimia, 2014)

- En la figura 3.8, se observa que las boquillas deben de insertarse a lo largo de la grieta, con una separación de 70 a 300 mm. Si las grietas son menores a 1 mm, se recomienda que las boquillas vayan a una separación máxima de 70 mm.
- Se aconseja utilizar barrenos de diámetros entre 6 y 12 mm, con una profundidad de 50 mm.



Figura 3.8 Inserción de boquillas (Kimia, 2014)

- Cuando se trata de un agrietamiento por corte (el agrietamiento sigue las juntas de mortero) se recomienda colocar las boquillas a la mitad de la altura de las juntas verticales.
- Se debe extraer el polvo en las grietas y barrenos empleando una aspiradora.
- En la figura 3.9, se observa que las grietas se deben sellar con un material de fraguado rápido como Vinilester o Poliester que son resistentes a la presión de la inyección.



Figura 3.9 Sellado de boquillas (Kimia, 2014)

- Se inyecta agua a presión ($0.10 \text{ MPa} = 1 \text{ kg/cm}^2$) desde la parte más alta para poder desalojar todas las partículas.
- Se debe saturar el muro para evitar el fraguado prematuro de la lechada, esta humectación debe llevarse a cabo 24 hrs. antes de la inyección y 30 min. antes se debe aplicar un ligero flujo de agua.
- Para verificar la fluidez de la mezcla se puede usar el viscosímetro de Marsh o hacer una prueba de vaciado.
- Una vez que sale la lechada por la boquilla inmediata superior es conveniente mantener la inyección 30 segundos adicionales, para asegurar la compactación de la lechada, como se observa en la figura 3.10.



Figura 3.10 Inyección de morteros a presión (Kimia, 2014)

- Se ha encontrado que cuando la relación agua-sólidos aumenta, mejora la penetración de la lechada en las grietas, pero aumenta la segregación y sangrado. Esto puede mejorarse si se usan aditivos superfluidizantes o humo de sílice.
- Muros reparados mediante inyección de morteros de cemento, ha recuperado o incluso mejorado sus propiedades de la siguiente manera (Klingner et al., 1997):
 - a) Resistencia del 80% al 120%.
 - b) Rigidez del 50% al 100%.
 - c) Capacidad de deformación del 80% al 90%.

3.2 Reparación de grietas con rajuelas

Las rajuelas son pedazos de piezas que se insertan en cajas abiertas en la grieta, deben acuñarse debidamente y deben pegarse con mortero tipo I. Antes de colocar el mortero, se debe limpiar y humedecer las superficies que estarán en contacto con él. Es conveniente usar algún aditivo estabilizador de volumen en el mortero de pega, y así controlar los cambios volumétricos y la contracción por fraguado que pueda sufrir. Este método de rehabilitación es aplicable cuando la grieta tiene una anchura mayor a 5 mm como se observa en la figura 3.11 (Alcocer, 2004).



Figura 3.11 Grieta con más de 5 mm de ancho, apta para rehabilitación por medio de inserción de rajuelas (Rocamora, 2014).

3.3 Reemplazo de elementos de concreto

Para llevar a cabo el reemplazo de piezas de concreto dañados, se debe usar materiales del mismo tipo, con una resistencia cuando menos igual a la resistencia del material original. En muchas ocasiones, se busca insertar elementos fabricados con materiales con características mecánicas superiores a las de los originales, aprovechando el procedimiento de reparación.

En todo caso, se debe tener presente que la inserción de piezas o concreto con propiedades muy diferentes puede desencadenar concentraciones de esfuerzos que pueden dañar la estructura; en estos casos, la rehabilitación resulta peor que el daño existente en el edificio. Ejemplo de esto es usar morteros que exhiben cambios volumétricos diferentes de la mampostería original. Las expansiones diferenciales generan deformaciones y esfuerzos locales que promueven el agrietamiento y daño interior de la estructura (Alcocer, 2004).

Una aplicación obvia de esta técnica es el daño severo en muros ante acciones sísmicas, el cual se caracteriza por aplastamiento de piezas a lo largo de las grietas inclinadas, así como por aplastamiento y desconchamiento del concreto de los elementos confinantes (Ruiz, 1995). En particular, si los castillos están dañados, y se ha decidido rehabilitar la estructura, será necesario apuntalar el edificio, pues los castillos no sólo contribuyen a incrementar notablemente la capacidad de desplazamiento lateral de la estructura y a dar estabilidad a su comportamiento, sino que participan en la capacidad de carga vertical (estabilidad vertical) de modo determinante (Alcocer, 1997).

En la figura 3.12, se observa un muro de mampostería confinada con elementos de concreto, como castillos y cadenas. El elemento vertical de concreto del lado derecho, ha sido dañado a causa de asentamientos en la estructura. Por lo anterior, se debe reemplazar el elemento de concreto.

En la figura 3.13, se observa que para el proceso de reemplazo del elemento de concreto, se debe demoler el concreto de la zona dañada, dejando cortes a 45° en cada uno de los extremos para brindar mayor soporte y adherencia entre el concreto existente y el concreto nuevo. En la figura 3.14, se observa con mayor detalle, el anclaje del refuerzo de acero nuevo al refuerzo de acero existente, el traslape mínimo a considerarse para la unión de barras es de 40 diámetros (NTC-DCEC, 2020) y para las barras rectas que se anclen, se deben terminar con un doblaje de 90°, considerando un tramo recto después del doblaje de 12 diámetros (NTC-DCEM, 2020).

La reparación de grietas por inyección, así como el reemplazo de piezas de concreto, se pueden utilizar en combinación con otras de las técnicas de rehabilitación que se presentan a continuación.

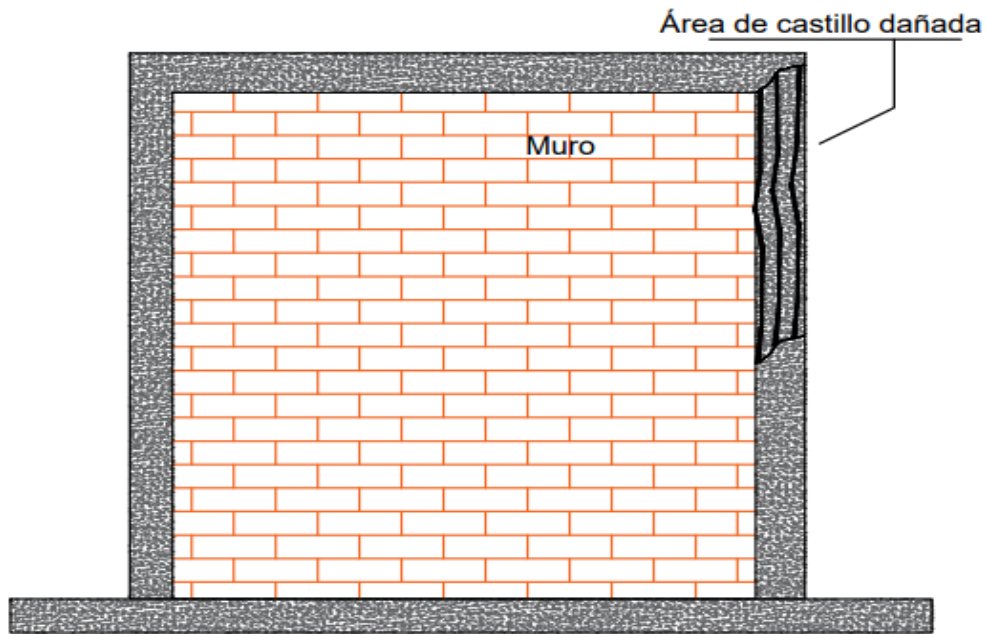


Figura 3.12 Elemento de confinamiento (castillo) de concreto dañado (adaptada de AIS, 2001)

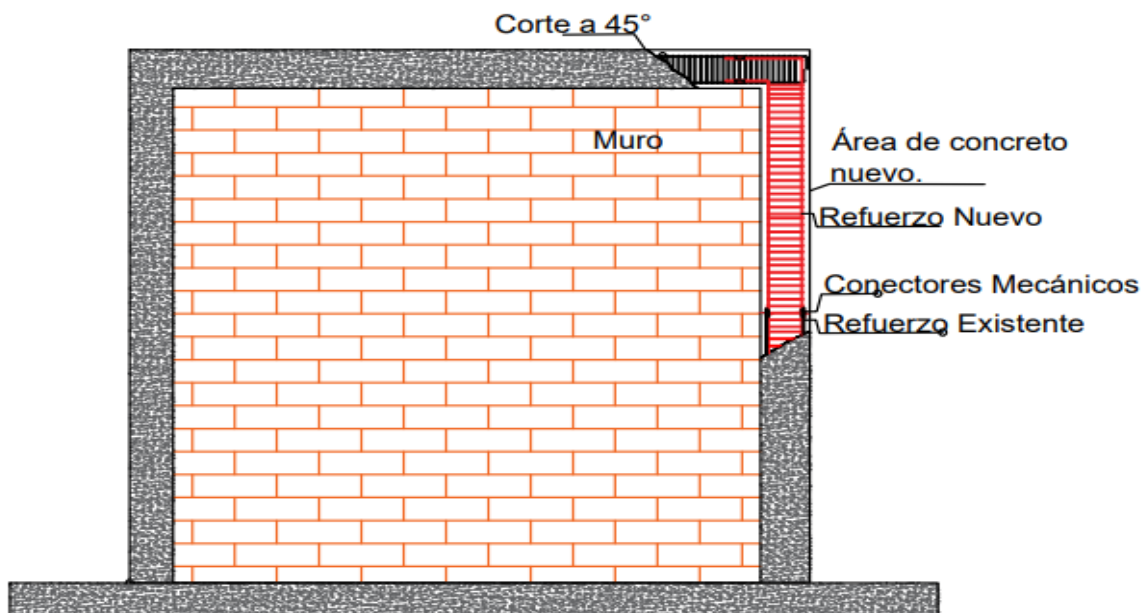


Figura 3.13 Reemplazo de elementos de concreto (adaptada de AIS, 2001)

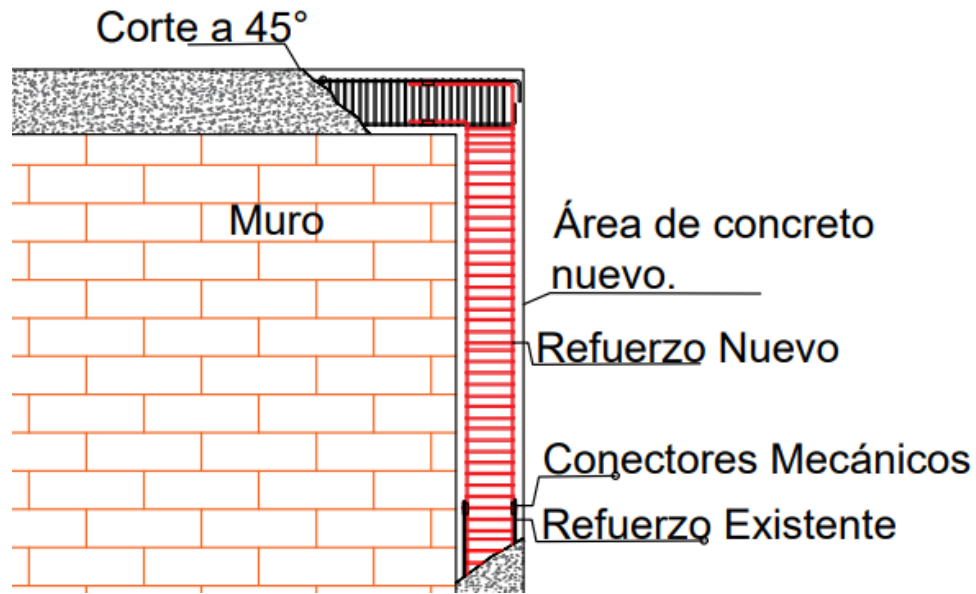


Figura 3.14 Unión de refuerzo de acero nuevo con refuerzo existente (adaptada de AIS, 2001)

3.4 Encamisado de muros

El encamisado de muros es una técnica en la que se adhieren mallas metálicas al muro y, posteriormente, se recubre con mortero de cemento colocado a mano o bien lanzado (figura 3.15). Como alternativa, los muros se pueden encamisar con ferrocemento, con un aplanado de concreto lanzado con fibras metálicas o con materiales sintéticos.

Una desventaja del encamisado de muros es la modificación de la apariencia de la estructura, lo cual puede ser determinante si el edificio posee un valor histórico o estético sobresaliente. En la figura 3.15 se muestran algunos de los detalles necesarios para la adecuada aplicación de la técnica, como la separación máxima entre de conectores para fijar la malla al muro y la longitud de anclaje de la malla en refuerzos en forma de “C” en los bordes.

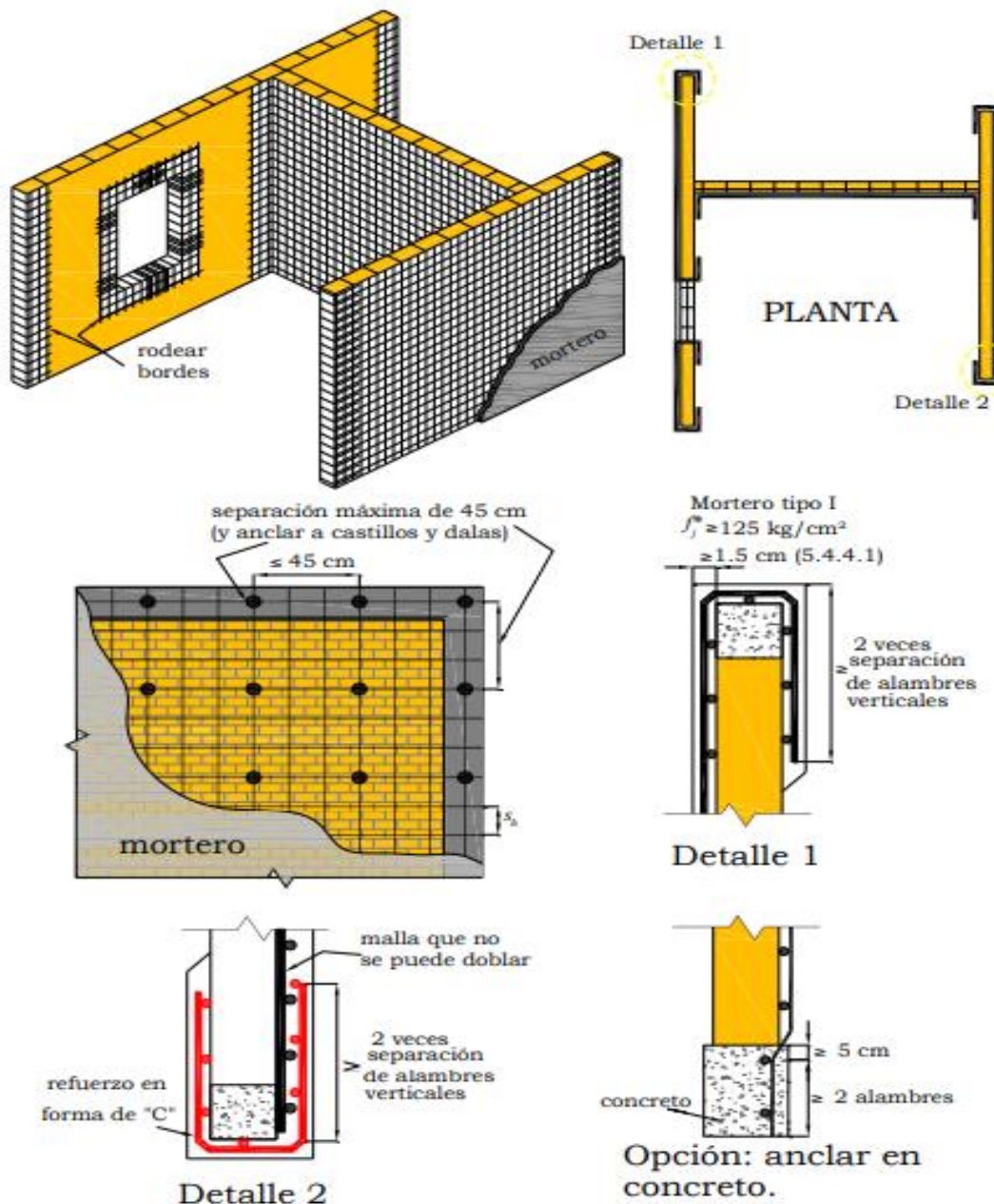


Figura 3.15 Encamisado de muros de mampostería (INIFED, 2014).

En la figura 3.16, se observa el proceso de colocación de refuerzo de acero en el muro de mampostería confinada. Posterior al proceso de escarificación de la mampostería, se ancla la malla electrosoldada al muro, mediante alambroón o clavos de concreto @ 45 cm. En los muros rehabilitados en una sola cara, para lograr un anclaje eficiente de la malla al muro, ésta, además de aplicarse completamente en la cara del muro rehabilitada, se aplica hasta un ancho de 45cm en cada esquina de la cara no rehabilitada (NTC-DCEM, 2020).



Figura 3.16 Proceso de refuerzo con malla y mortero (CENAPRED, 2022)

3.5 Inserción de barras de Refuerzo

Otra técnica de rehabilitación de muros de mampostería consiste en colocar barras de refuerzo a lo largo de las juntas de mortero. Para alojarlas, se requiere preparar la junta con ranuras longitudinales y practicar barrenos transversales al muro a ciertos intervalos para amarrar a las barras entre sí. Una vez colocadas las barras, generalmente una en cada lado del muro, se recubren con mortero de cemento o tipo epóxico. En caso de que existan, las barras se deben anclar en los extremos de los muros, preferentemente mediante ganchos estándar a 90° en los elementos confinantes.

Con esta técnica se alcanzan recuperaciones aceptables de resistencia, rigidez y capacidad de deformación; sin embargo, exige un procedimiento muy laborioso y con buena supervisión. Su desempeño es altamente dependiente de la calidad de la ejecución. (Alcocer, 2004).

En la figura 3.17, se observa el esquema general de la rehabilitación por inserción de barras de refuerzo.

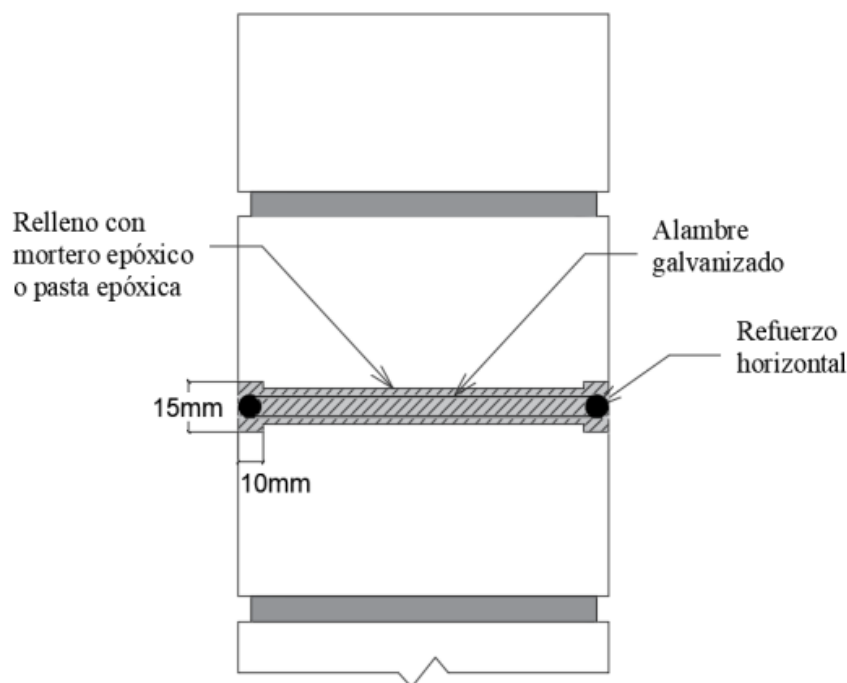


Figura 3.17 Inserción de barras de refuerzo en muro de mampostería
(Gómez et al., 2019)

CAPÍTULO 4.

CASO DE ESTUDIO:
ANÁLISIS DE
PROYECTO DE
VIVIENDA.

4.1 Introducción

En esta sección se realiza el análisis sísmico de una estructura existente destinada a vivienda, la cual se encuentra localizada en la ciudad de Tapachula, Chiapas, dentro de un predio con un área total de 91.5 m².

El sistema estructural está proyectado con base en muros de mampostería confinada, contruidos con bloques huecos de concreto (BHC) de dimensiones 15x20x40 cm.

El proyecto contempla la distribución de espacios mostrada en la figura 4.1. En la planta baja cuenta con garage, jardín, sala, comedor, cocina, ½ baño, patio de servicio y cubo de escaleras. El área de entrepiso, techada con losa maciza de concreto reforzado ($f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$), es de 40 m².

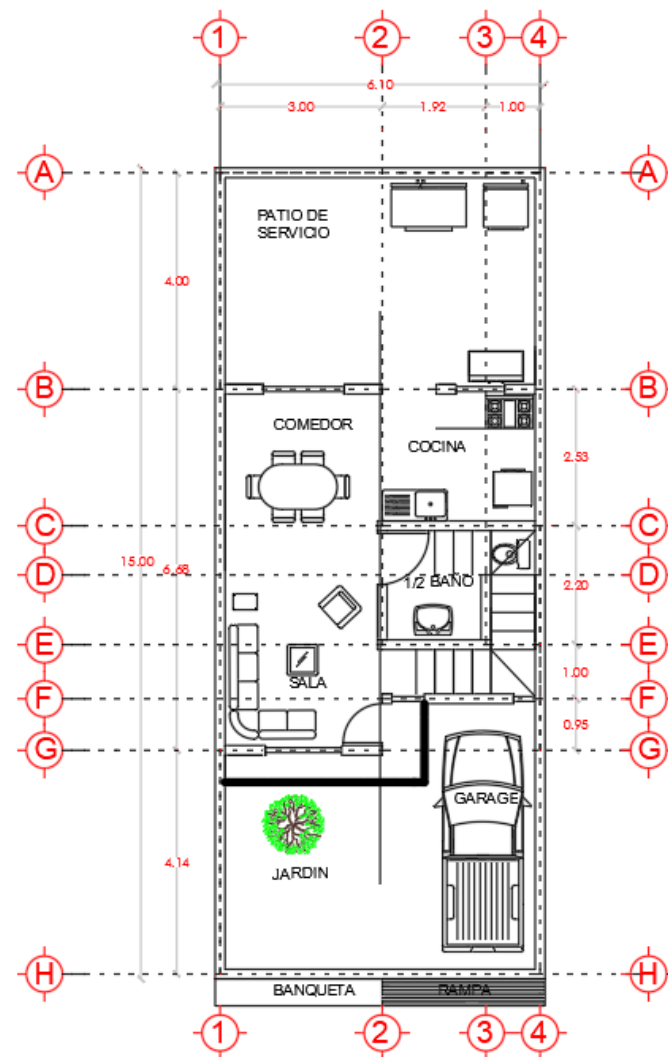


Figura 4.1 Plano arquitectónico del proyecto, planta baja.

En la figura 4.2 se muestra la distribución de espacios de la planta alta, la cual contempla dos recamaras, baño completo y cubo de escaleras. El área de azotea techada, con losa maciza de concreto $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$, es de 40 m^2 . En la figura 4.3 se muestra la fachada principal, de donde se puede observar que la altura total de la edificación es de 5.40 m ., con una altura de cada entrepiso de 2.7 m .

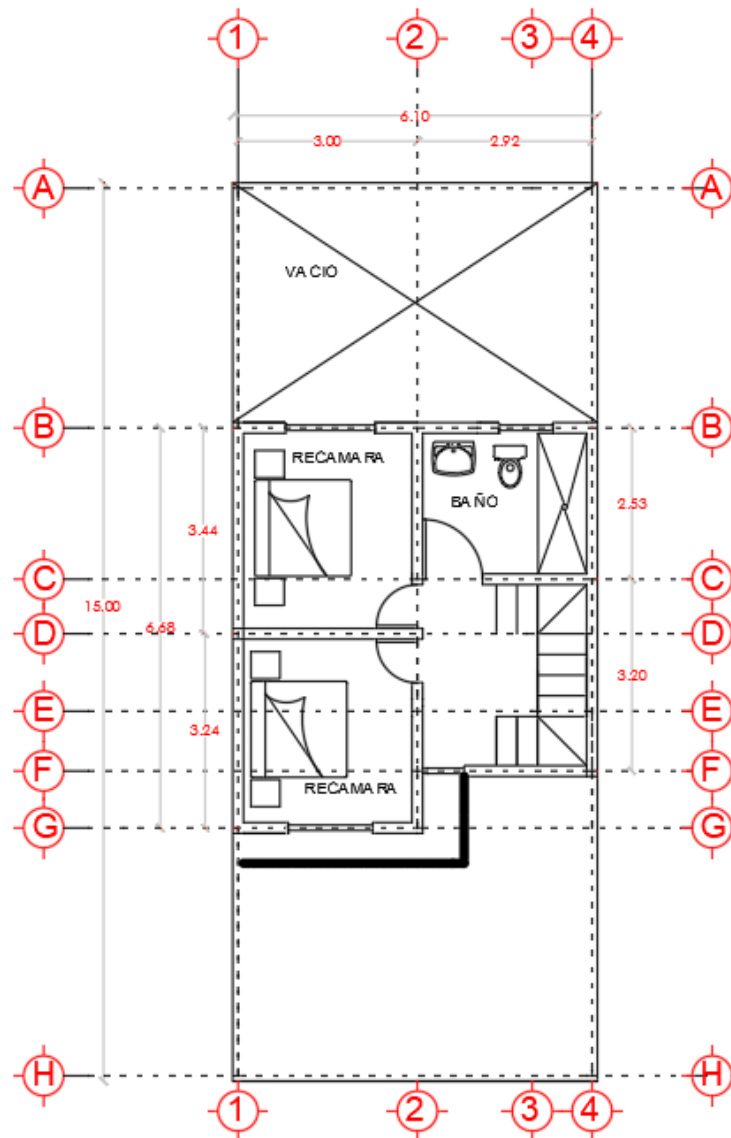


Figura 4.2 Plano arquitectónico del proyecto, planta alta.

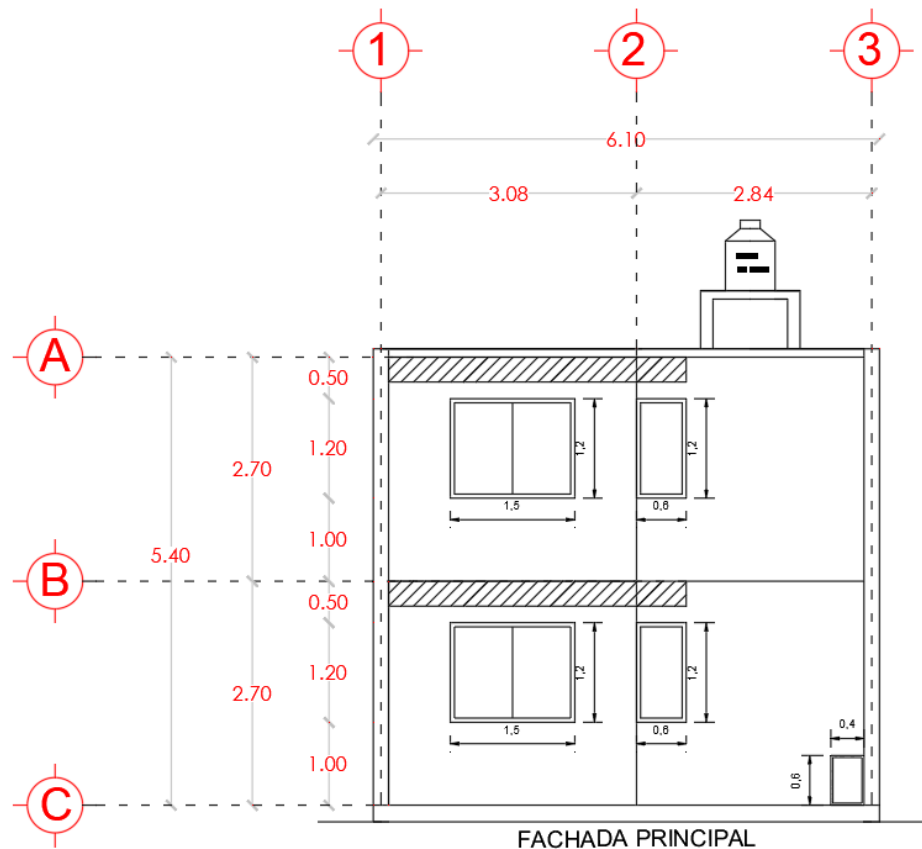


Figura 4.3 Fachada principal del proyecto de vivienda.

La estructura presentada (figuras 4.1 a 4.3) es representativa, en geometría y estructuración, de algunas casas habitación que se comercializan, no solamente en Tapachula, sino en varias de las ciudades de Chiapas, las cuales también están expuestas a un peligro sísmico alto.

Con la finalidad de evaluar la capacidad sismo-resistente de la estructura en estudio, como primera aproximación, se emplea el método simplificado (MS) de análisis, evaluando la relación demanda/capacidad de los muros ante cargas laterales. Esto permitirá, de inicio, definir si la densidad de muros es adecuada o deben hacerse modificaciones. El MS ha mostrado brindar buenos resultados cuando la estructura en estudio cumple con las limitaciones especificadas para su uso. Se hace notar que en la versión 2020 de las NTC-Mampostería, no aparece el método simplificado como opción; sin embargo, esto está más asociado a malas prácticas que al método en sí mismo (Godínez, 2023).

En las versiones 2017 a la 2020 de las NTC- Mampostería se creó una categoría de estructuras de mampostería para aquellas de tamaño reducido y que pertenecieran al subgrupo B2 o grupo C, con la intención de permitir el uso de criterios de análisis, diseño y construcción más simples y conservadores. En la versión 2023 se decidió renombrar la categoría como tipo II e incluir nuevamente el método simplificado de

análisis y diseño expuestos en la sección 12.3.2.4. Análisis, diseño y construcción de estructuras tipo II, de las NTC-Mampostería. (NTC-DCM, 2023)

Por otro lado, en el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC-15, 2015) documento desarrollado y validado por expertos en varias áreas de ingeniería, el MS aparece como una opción viable para el estudio de ciertas estructuras con base en muros. En este caso se incluyen factores de área efectiva modificados, los cuales están basados en estudios extensos (Tena *et al.*, 2010).

Además del empleo del MS, como segunda etapa, para comparar y validar los resultados inicialmente obtenidos, la estructura se analiza empleando un análisis modal espectral (AME).

Previo a la revisión por cargas laterales mediante el método simplificado, se presenta la revisión ante cargas verticales.

4.2 Revisión por Cargas Verticales

4.2.1 Análisis de Cargas

Las cargas verticales se derivan fundamentalmente del funcionamiento de la construcción, esto se refiere a que dichas cargas corresponden al peso propio de la estructura y acabados, así como de las cargas variables producidas por el uso de la edificación.

En las edificaciones basadas en un sistema estructural de muros de mampostería, las cargas son soportadas precisamente por muros de carga, los cuales distribuyen las cargas hacia la cimentación.

Para la revisión ante acciones gravitacionales, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCM, 2020), establecen lo siguiente:

$$P_R \geq P_u \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

donde:

P_R : Carga vertical que resisten los muros de carga

P_u : Carga vertical última que actúa en cada muro

Para obtener la carga vertical última (P_u) que actúa en cada uno de los muros, se considera el peso propio de la estructura, peso de losas y el peso variable provocado por el funcionamiento de la estructura, estos pesos son afectados por

factores de carga, los cuales se aplican a las combinaciones de cargas muertas y vivas.

En este proyecto de vivienda se realizó el análisis de cargas muertas de azotea (Tabla 4.1) y entrepiso (Tabla 4.2), considerando los diferentes recubrimientos que intervienen en cada nivel y agregando la sobrecarga por reglamento que se indican en las Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, (NTC-CADEE, 2017). Dicha norma proporciona los valores recomendados para el análisis de cargas vivas (Tabla 4.3), indicando los valores de carga viva máxima (CVM) los cuales se utilizan para el diseño estructural por fuerzas gravitacionales, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales, también se indican los valores de carga viva instantánea (CVA) para diseño sísmico (para combinación de cargas gravitacionales con una accidental).

Cargas muertas de losa de azotea (CM_{LA})		
	W	Unidad
Impermeabilizante	10	kg/m ²
Losa de concreto (10 cm)	240	kg/m ²
Aplanado	40	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40	kg/m ²
Total	330	kg/m ²

Tabla 4.1 Análisis de cargas muertas de losa de azotea.

Cargas muertas de losa de entrepiso (CM_{LE})		
	W	Unidad
Piso cerámico	20	kg/m ²
Pegazulejo	22	kg/m ²
Losa de concreto (10 cm)	240	kg/m ²
Aplanado	40	kg/m ²
Sobrecarga por reglamento	40	kg/m ²
Total	362	kg/m ²

Tabla 4.2 Análisis de cargas muertas de losa de entrepiso.

Cargas vivas máximas (CVM) y cargas vivas instantáneas (CVA) para casa habitación.			
	CVM	CVA	Unidad
Carga viva en casas habitación (losa de entrepiso)	190	100	kg/m ²
Carga viva en casas habitación (losa de azotea)	100	70	kg/m ²

Tabla 4.3 Cargas vivas máximas e instantáneas para losas de entrepiso y de azotea de casa habitación.

Para las distintas combinaciones de acciones, las Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CADEE, 2017) indican que, se debe verificar la seguridad de una estructura para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente. Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, se considerarán todas las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomará con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o bien todas ellas con su intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo, lo valores utilizados para una estructura tipo B, como lo es una casa habitación, se indican en la tabla 4.4. Se observa que los valores para estructuras tipo A son mayores que los especificados para estructuras tipo B.

Factores de carga (Estado Limite de Falla)		
Cargas gravitacionales (Verticales)		
	CM	CV
Estructura tipo A	1.5	1.7
Estructura tipo B	1.3	1.5

Tabla 4.4 Factores de carga para combinaciones que incluyen acciones permanentes y variables.

4.2.2 Áreas Tributarias

Para determinar las cargas verticales que actúan sobre cada muro, se realizó una bajada de cargas por áreas tributarias. Para este caso, se considera que existen colectores dispuestos de forma adecuada, tal y como se indica en las figuras 4.4 y 4.5.

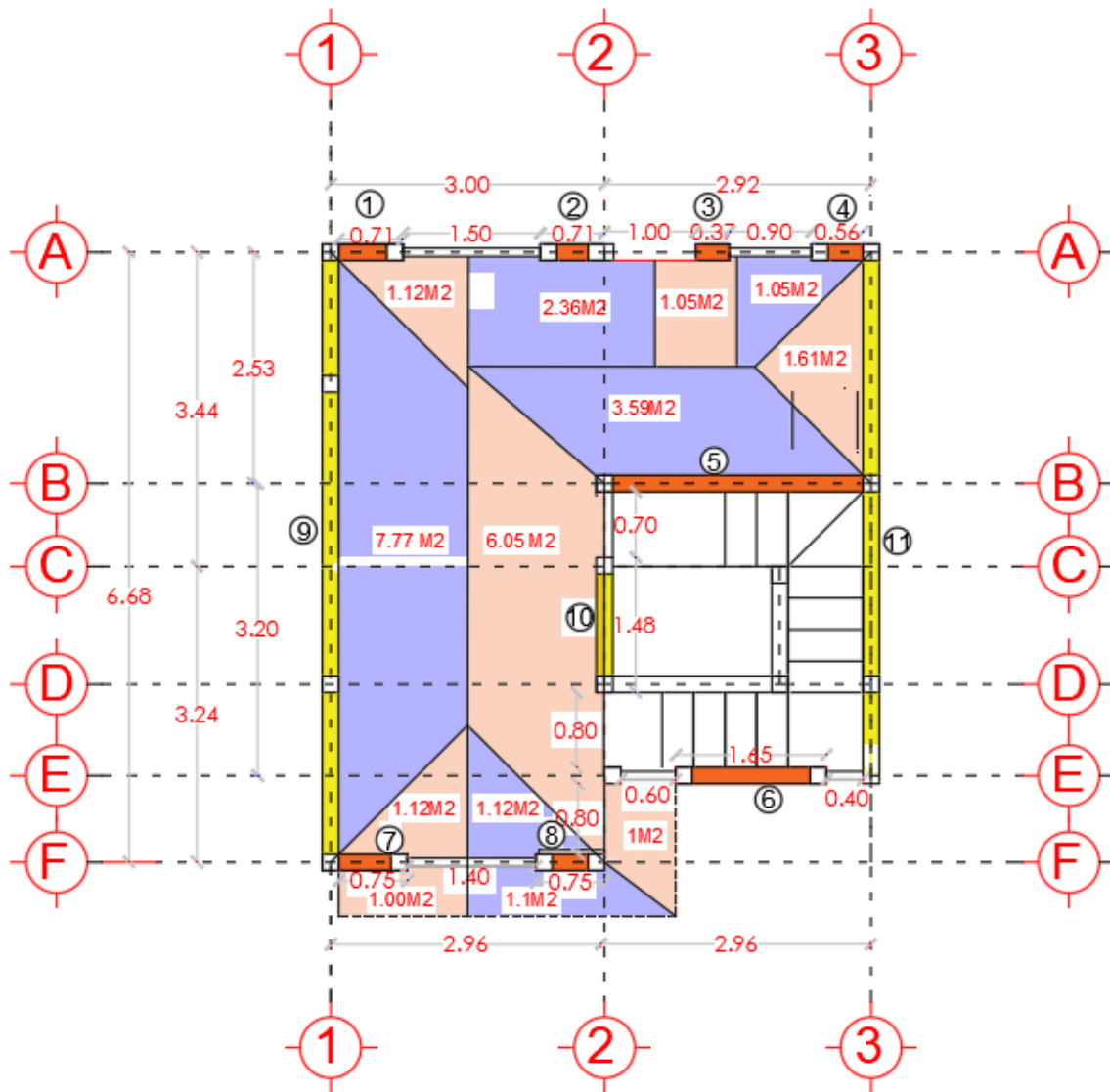


Figura 4.4 Áreas tributarias planta baja.

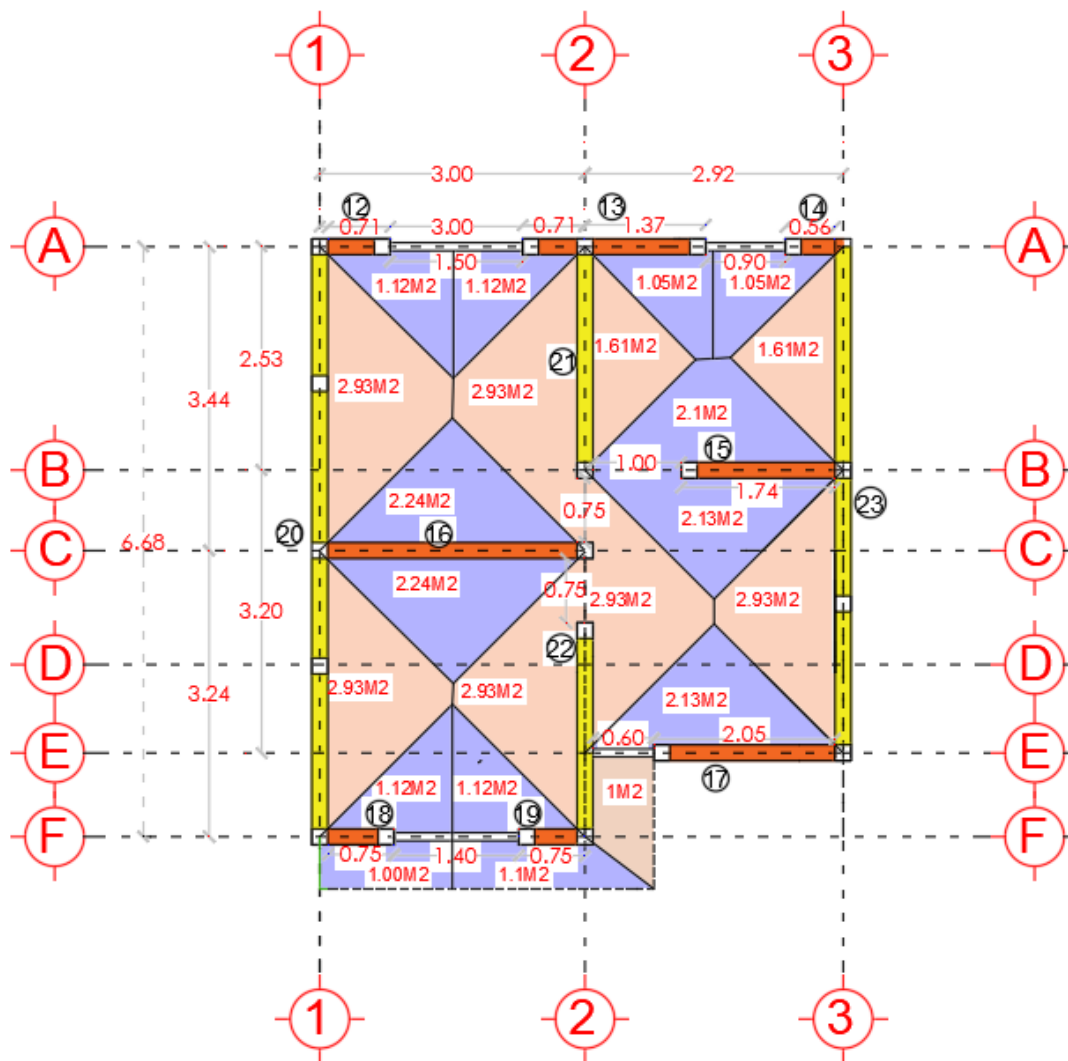


Figura 4.5 Áreas tributarias planta alta.

Para la bajada de cargas se consideraron las cargas muertas y vivas previamente descritas y de acuerdo a la Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CADEE, 2017), se utilizaron los factores de carga correspondientes, se realizó la distribución de dichas cargas considerando las áreas tributarias mostradas en las figuras 4.4 y 4.5.

Posteriormente, conforme a lo especificado en las NTC-DCM (NTC-DCM, 2020), la carga vertical resistente de cada uno de los muros se estima mediante la ecuación 4.2

$$P_R = F_R F_E (F_m * A_T + \sum A_s F_y) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

donde:

F_R = Factor de resistencia.

$F_R = 0.6$ para muros confinados o reforzados interiormente.

F_e = Factor de reducción por los efectos de excentricidad y esbeltez.

$F_e = 0.7$ para muros interiores que soportan claros que no difieren entre si más del 50%

$F_e = 0.6$ para muros exteriores o con claros que difieran en más del 50%

F_m = Resistencia de diseño a la compresión de la mampostería.

$$F_m = 20 \frac{kg}{cm^2}$$

A_t = Área de la sección transversal del muro

A_s = Área de acero total longitudinal colocada en cada uno de los castillos extremos del muro.

F_y = Esfuerzo de fluencia especificado del acero del refuerzo horizontal.

$$F_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$$

Una vez aplicada la fórmula para la carga resistente de los muros, se realiza la comparación de la carga última actuante (P_U) con la carga resistente (P_R), considerando que, para garantizar la seguridad de los muros ante la acción de las cargas verticales, la carga resistente debe ser mayor o igual a la carga última actuante, es decir: $P_R \geq P_U$.

En caso de que esta condición no se cumpla, se tiene que rediseñar los muros que no satisfagan con dicha condicionante u optar por alternativas viables en el caso de diseños originales.

Los muros ubicados en los ejes identificados con letras son paralelos a la dirección global de análisis "x"; en tanto que los muros ubicados en los ejes identificados con números son paralelos a la dirección global de análisis "y".

Los resultados de la revisión por cargas verticales de los muros de la planta alta y planta baja de la vivienda, se observan en las tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8, siendo los muros del 1 al 11 los correspondientes a la planta baja de la vivienda y los muros del 12 al 23 los correspondientes a la planta alta de la vivienda.

En la tabla 4.5 se observa el proceso de cálculo de la resistencia de diseño de cada muro, aplicando la ecuación 4.2. En la tabla 4.6 se presenta el cálculo de la carga última actuante en cada uno de los muros, aplicando los factores de carga de la tabla 4.4 para acciones permanentes y variables.

En la tabla 4.7, se observa la revisión del cumplimiento de la condición de diseño; es decir, que la resistencia de diseño de cada muro sea mayor a la carga última actuante, ($P_R > P_U$).

En la tabla 4.8, se pueden observar que los muros de la vivienda en la condición más desfavorable (considerando las cargas acumuladas en los muros de planta baja) cumplen con la revisión por cargas verticales. Por lo anterior, se procede a realizar una revisión antes cargas laterales.

Número de muro	Eje	Tramo	Longitud de muro (m)	Espesor de muro (m)	Tipo de muro (Exterior o Interior)	F_r	F_e	F_m (kg/cm ²)	Área de Sección Transversal de muro (At) (cm ²)	F_y (kg/cm ²)	Área de acero de castillos en extremos de muro As (cm ²)	Resistencia de diseño (Kg) (PR)
1	A	1-2	0.71	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1065.0	4200	5.68	16256.16
2	A	1-2	0.71	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1065.0	4200	5.68	16256.16
3	A	2-3	0.37	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	555.0	4200	5.68	12584.16
4	A	2-3	0.56	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	840.0	4200	5.68	14636.16
5	B	2-3	2.92	0.15	Interior	0.6	0.7	20	4380.0	4200	5.68	46811.52
6	E	2-3	1.65	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	2475.0	4200	5.68	26408.16
7	F	1-2	0.75	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1125.0	4200	5.68	16688.16
8	F	1-2	0.75	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1125.0	4200	5.68	16688.16
9	1	A-F	6.68	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	10020.0	4200	5.68	80732.16
10	2	C-D	1.48	0.15	Interior	0.6	0.7	20	2220.0	4200	5.68	28667.52
11	3	A-E	5.73	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	8595.0	4200	5.68	70472.16
12	A	1-2	0.71	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1065.0	4200	5.68	16256.16
13	A	1-3	2.08	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	3120.0	4200	5.68	31052.16
14	A	2-3	0.65	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	975.0	4200	5.68	15608.16
15	B	2-3	1.74	0.15	Interior	0.6	0.7	20	2610.0	4200	5.68	31943.52
16	C	1-2	3	0.15	Interior	0.6	0.7	20	4500.0	4200	5.68	47819.52
17	E	2-3	2.05	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	3075.0	4200	5.68	30728.16
18	F	1-2	0.75	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1125.0	4200	5.68	16688.16
19	F	1-2	0.75	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	1125.0	4200	5.68	16688.16
20	1	A-F	6.68	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	10020.0	4200	5.68	80732.16
21	2	A-B	2.53	0.15	Interior	0.6	0.7	20	3795.0	4200	5.68	41897.52
22	2	C-F	2.49	0.15	Interior	0.6	0.7	20	3735.0	4200	5.68	41393.52
23	3	A-E	5.73	0.15	Exterior	0.6	0.6	20	8595.0	4200	5.68	70472.16

Tabla 4.5 Obtención de la resistencia de diseño de los muros de la vivienda

Número de muro	Eje	Tramo	Longitud de muro (m)	Espesor de muro (m)	Área Tributaria (At) (m²)	Peso de losa ⁽¹⁾		Peso propio cadena desplante y cerramiento (kg) ⁽²⁾	Peso propio de castillos (kg) ⁽²⁾	Peso propio del muro (kg) ⁽³⁾	Carga por tramo		Carga última actuante (Pu)
						Carga muerta (kg) (At*CM)	Carga Viva (kg) (At*CVM)				Carga muerta (kg)	Carga Viva (kg)	
1	A	1-2	0.71	0.15	1.12	405.44	212.8	102.24	291.6	470.73	1191.21	212.8	1867.773
2	A	1-2	0.71	0.15	2.36	854.32	448.4	102.24	291.6	470.73	1875.69	448.4	3110.997
3	A	2-3	0.37	0.15	1.05	380.1	199.5	53.28	145.8	245.31	878.19	199.5	1440.897
4	A	2-3	0.56	0.15	1.05	380.1	199.5	80.64	145.8	371.28	1031.52	199.5	1640.226
5	B	2-3	2.92	0.15	3.59	1299.58	682.1	420.48	291.6	1935.96	4338.12	682.1	6662.706
6	E	2-3	1.65	0.15	1	362	190	237.6	291.6	1093.95	1883.55	190	2733.615
7	F	1-2	0.75	0.15	2.12	767.44	402.8	108	291.6	497.25	1775.49	402.8	2912.337
8	F	1-2	0.75	0.15	2.22	803.64	421.8	108	291.6	497.25	1830.69	421.8	3012.597
9	1	A-F	6.68	0.15	7.77	2812.74	1476.3	961.92	291.6	4428.84	9679.8	1476.3	14798.19
10	2	C-D	1.48	0.15	6.05	2190.1	1149.5	213.12	291.6	981.24	4533.96	1149.5	7618.398
11	3	A-E	5.73	0.15	1.61	582.82	305.9	825.12	291.6	3798.99	5512.83	305.9	7625.529
12	A	1-2	0.71	0.15	1.12	369.6	112	51.12	291.6	470.73	1003.45	112	1472.485
13	A	1-3	2.08	0.15	2.17	716.1	217	149.76	437.4	1379.04	2461.9	217	3525.97
14	A	2-3	0.65	0.15	1.05	346.5	105	46.8	291.6	430.95	929.25	105	1365.525
15	B	2-3	1.74	0.15	4.23	1395.9	423	125.28	291.6	1153.62	3097.8	423	4661.64
16	C	1-2	3	0.15	4.48	1478.4	448	216	291.6	1989	4131.4	448	6042.82
17	E	2-3	2.05	0.15	3.13	1032.9	313	147.6	291.6	1359.15	2852.65	313	4177.945
18	F	1-2	0.75	0.15	2.12	699.6	212	54	291.6	497.25	1462.85	212	2219.705
19	F	1-2	0.75	0.15	2.22	732.6	222	54	291.6	497.25	1505.85	222	2290.605
20	1	A-F	6.68	0.15	5.86	1933.8	586	480.96	291.6	4428.84	7429.6	586	10537.48
21	2	A-B	2.53	0.15	4.54	1498.2	454	182.16	291.6	1677.39	3811.75	454	5636.275
22	2	C-F	2.49	0.15	5.86	1933.8	586	179.28	291.6	1650.87	4349.95	586	6533.935
23	3	A-E	5.73	0.15	4.54	1498.2	454	412.56	291.6	3798.99	6163.75	454	8693.875
										Σ Total	73731.25	9820.6	110581.525

Tabla 4.6 Obtención de las cargas de servicio de cada uno de los muros de la vivienda.

Peso de losa⁽¹⁾ = Peso de losa obtenido de multiplicar la carga muerta (tablas 4.1 y 4.2) por el área tributaria.

Peso propio de cadena y castillos⁽²⁾: Volumen del elemento (longitud o altura o sección transversal del elemento), por el peso volumétrico del concreto armado ($2400 \frac{kg}{m^3}$)

*Peso propio del muro⁽³⁾ = Obtenido de la multiplicación de longitud * altura * espesor de muro * peso volumétrico del muro ($1700 \frac{kg}{m^3}$) (NTC – DCEM, 2020)*

Número de muro	Eje	Tramo	Longitud de muro (m)	Espesor de muro (m)	Carga por tramo		Carga última actuante (Pu)	Resistencia de diseño (Kg) (PR)	Pu/PR < 1	Cumple la condición Pu/PR < 1
					Carga muerta (kg)	Carga Viva (kg)				
1	A	1-2	0.71	0.15	1191.21	212.8	1867.773	16256.16	0.115	Cumple
2	A	1-2	0.71	0.15	1875.69	448.4	3110.997	16256.16	0.191	Cumple
3	A	2-3	0.37	0.15	878.19	199.5	1440.897	12584.16	0.115	Cumple
4	A	2-3	0.56	0.15	1031.52	199.5	1640.226	14636.16	0.112	Cumple
5	B	2-3	2.92	0.15	4338.12	682.1	6662.706	46811.52	0.142	Cumple
6	E	2-3	1.65	0.15	1883.55	190	2733.615	26408.16	0.104	Cumple
7	F	1-2	0.75	0.15	1775.49	402.8	2912.337	16688.16	0.175	Cumple
8	F	1-2	0.75	0.15	1830.69	421.8	3012.597	16688.16	0.181	Cumple
9	1	A-F	6.68	0.15	9679.8	1476.3	14798.19	80732.16	0.183	Cumple
10	2	C-D	1.48	0.15	4533.96	1149.5	7618.398	28667.52	0.266	Cumple
11	3	A-E	5.73	0.15	5512.83	305.9	7625.529	70472.16	0.108	Cumple
12	A	1-2	0.71	0.15	1003.45	112	1472.485	16256.16	0.091	Cumple
13	A	1-3	2.08	0.15	2461.9	217	3525.97	31052.16	0.114	Cumple
14	A	2-3	0.65	0.15	929.25	105	1365.525	15608.16	0.087	Cumple
15	B	2-3	1.74	0.15	3097.8	423	4661.64	31943.52	0.146	Cumple
16	C	1-2	3	0.15	4131.4	448	6042.82	47819.52	0.126	Cumple
17	E	2-3	2.05	0.15	2852.65	313	4177.945	30728.16	0.136	Cumple
18	F	1-2	0.75	0.15	1462.85	212	2219.705	16688.16	0.133	Cumple
19	F	1-2	0.75	0.15	1505.85	222	2290.605	16688.16	0.137	Cumple
20	1	A-F	6.68	0.15	7429.6	586	10537.48	80732.16	0.131	Cumple
21	2	A-B	2.53	0.15	3811.75	454	5636.275	41897.52	0.135	Cumple
22	2	C-F	2.49	0.15	4349.95	586	6533.935	41393.52	0.158	Cumple
23	3	A-E	5.73	0.15	6163.75	454	8693.875	70472.16	0.123	Cumple
					73731.25	9820.6	110581.525			

Tabla 4.7 Revisión de resistencia contra carga actuante de cada uno de los muros de la vivienda.

			Carga acumulada por nivel ⁽⁴⁾					
Número de muro	Eje	Tramo	Carga muerta (kg)	Carga Viva (kg)	Carga última actuante (Pu)	Resistencia de diseño (PR)	Pu/Pr < 1	Cumple la condición Pu/PR < 1
1-12	A	1-2	2194.66	324.8	3340.258	16256.16	0.21	Cumple
2-13	A	1-2	3106.64	556.9	4873.982	16256.16	0.30	Cumple
3-13	A	2-3	2109.14	308	3203.882	12584.16	0.25	Cumple
4-14	A	2-3	1960.77	304.5	3005.751	14636.16	0.21	Cumple
5-15	B	2-3	7435.92	1105.1	11324.346	46811.52	0.24	Cumple
6-17	E	2-3	4736.2	503	6911.56	26408.16	0.26	Cumple
7-18	F	1-2	3238.34	614.8	5132.042	16688.16	0.31	Cumple
8-19	F	1-2	3336.54	643.8	5303.202	16688.16	0.32	Cumple
9-20-16	1	A-F	19175.1	2286.3	28357.08	80732.16	0.35	Cumple
10-16-21-22	2	C-D	14761.36	2413.5	22810.018	28667.52	0.80	Cumple
11-23	3	A-E	11676.58	759.9	16319.404	70472.16	0.23	Cumple
			73731.25	9820.6	110581.525			

Tabla 4.8 Revisión de resistencia contra carga actuante acumulada en los muros de planta baja de la vivienda.

Carga acumulada por nivel⁽⁴⁾ =

La carga por tramo (tabla 4.6) de los muros de la planta alta (12 al 13) se reparte sobre los muros en que coincide de planta baja (1 al 11)

4.3 Análisis Sísmico

Las cargas provocadas por la acción sísmica, son la causa más frecuente e importante de cargas horizontales que actúan sobre las estructuras de mampostería. Los sismos provocan diversos efectos, de los cuales el más importante es el de fuerza cortante en la estructura, la cual debe ser resistida mediante elementos estructurales (marcos rígidos, muros). (Gallo et al., 2007)

De acuerdo al Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, en su versión de 2015 (MDOC-15, 2015), se establecen diferentes métodos de análisis sísmico, donde cada uno tiene restricciones y limitaciones para su aplicación. Se clasifican en:

A) Método Simplificado

Este método es recomendado para estructuras cuya altura no sea mayor a 13 metros y área construida menor a 400m².

B) Método Estático:

Este método se recomienda aplicar a edificios regulares cuya altura sea menor o igual que 30 m y estructuras irregulares con altura no mayor de 20 m. En terreno firme, estos límites se incrementan a 40 y 30 m, respectivamente.

C) Método de Análisis Dinámico

Las estructuras que no cumplan los requisitos anteriores, se deberán analizar empleando un método dinámico. El análisis dinámico es aplicable en todos los casos.

El método de análisis sísmico aplicable para la estructura de mampostería confinada del proyecto a revisar, es el método de Análisis Sísmico Estático Simplificado, ya que cumple con los requisitos de regularidad y altura adecuados para la aplicación del método.

4.3.1 Método Simplificado.

En este método, aplicable a estructuras simétricas con diafragmas rígidos cuando la carga lateral se aplica solo en una dirección, se considera un mecanismo de cortante directo; es decir, que el cortante de entrepiso actuante se distribuye entre los elementos resistentes de forma proporcional a su rigidez (Tena y Cano, 2007; Tena *et al.*, 2010; MOC-15, 2015). En primera instancia, se realiza la verificación del cumplimiento de los requisitos para aplicación del método simplificado. El Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015), especifica que, en este caso, será admisible considerar que la fuerza cortante que toma cada muro o segmento, es proporcional a su área transversal, ignorando los efectos de torsión, de momento, de volteo y de flexibilidad del diafragma. Al aplicar el método simplificado se debe verificar el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- A) En cada planta, al menos el 75% de las cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte. Dichos muros tendrán distribución sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales y deberán satisfacer las condiciones que establecen las correspondientes recomendaciones y normas de diseño estructural vigentes, para el diseño y construcción de estructuras de mampostería, concreto, acero o madera.

Para la vivienda en estudio, podemos observar en las figuras 4.4 y 4.5, que se cumple la primera condición donde menciona que al menos el 75% de las cargas verticales deben estar soportadas por muros ligados entre sí.

- B) Revisión de la excentricidad torsional de las plantas de la vivienda.

La excentricidad torsional e_s puede estimarse como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis.

El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro, A_T , y el factor F_{AE} , que, para colapso, está dado por (Tena *et al.*, 2010, MOC-15, 2015):

$$\text{si } \frac{H}{L} \leq 2.5 \text{ entonces } F_{AE} = 0.6 + 0.6 * \left(\frac{H}{L}\right) - 0.3 * \left(\frac{H}{L}\right)^2 + 0.05 * \left(\frac{H}{L}\right)^3$$

Ecuación 4.3

donde H es la altura libre del muro y L es la longitud efectiva del muro.

La excentricidad en cada dirección se calcula aplicando la ecuación 4.4.

$$e_x = \frac{|\sum x_i F_{AEi} A_{Ti}|}{\sum F_{AEi} A_{Ti}} \leq 0.10 B_n$$

$$e_y = \frac{|\sum y_j F_{AEj} A_{Tj}|}{\sum F_{AEj} A_{Tj}} \leq 0.10 L_n$$

Ecuación 4.4

donde:

$A_{Ti,j}$ = Área de la sección transversal del muro i o j según corresponda.

$F_{AEi,j}$ = Factor de Área Efectiva i o j según corresponda.

B_n = Es la dimensión menor del entrepiso n .

L_n = Es la dimensión mayor del entrepiso n .

B_n y L_n corresponden a dimensiones medidas paralelamente a la excentricidad que se calcula.

4.3.2 Revisión de la excentricidad torsional.

En la figura 4.6 se puede observar que en la planta baja de la estructura se tiene a los muros 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 actuando en dirección “X”. Los muros 9, 10 y 11 están actuando en la dirección “Y”.

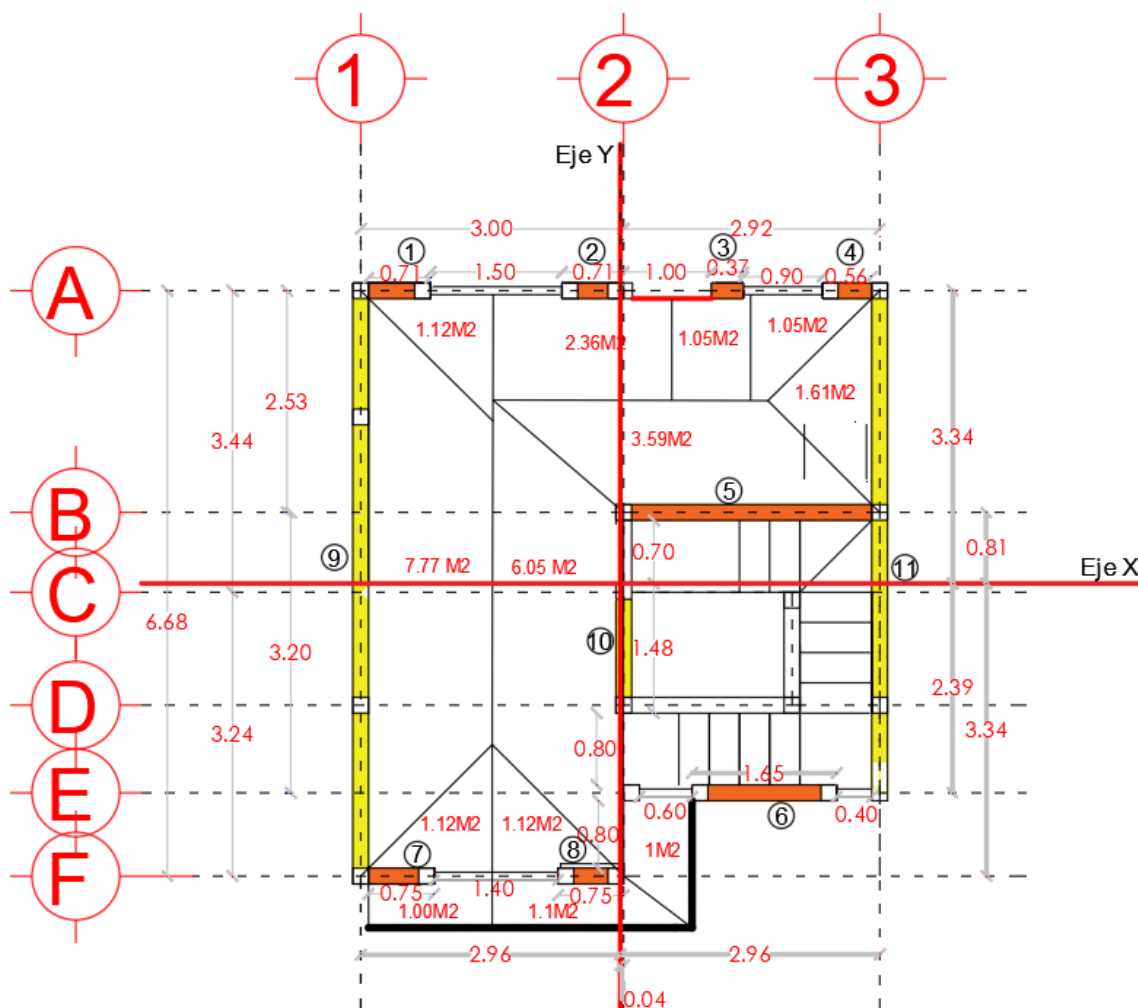


Figura 4.6 Muros paralelos al eje X (color naranja) y muros paralelos al eje Y (color amarillo).

En la Tabla 4.9 se muestra el procedimiento de cálculo de la suma algebraica del momento de áreas efectivas de los muros con respecto al centro de cortante del entrepiso divididas por el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis X. Para obtener la excentricidad en dirección y, se aplica finalmente la Ecuación 4.4, con lo que se obtiene $e_y = 103.5 \text{ cm}$, la cual es mayor que el 10% de la longitud mayor del entrepiso (6.68 m), incumpliendo con el requisito.

Muro	L (cm)	H/L	F _{AE}	A(cm ²)	A*F _{AE} (cm ²)	Y _i	A*F _{AE} *Y _i
1	71	3.80	1.293	1065.00	1377	334	459923
2	71	3.80	1.293	1065.00	1377	334	459923
3	37	7.30	8.432	555.00	4680	334	1563127
4	56	4.82	2.123	840.00	1783	334	595627
5	292	0.92	0.938	4380.00	4108	81	332722
6	165	1.64	0.998	2475.00	2469	-239	-590103
7	75	3.60	1.205	1125.00	1355	-334	-452704
8	75	3.60	1.205	1125.00	1355	-334	-452704
	842			12630.00	18505		1915811

ey₁ =	103.5	cm	
Abs /ey/ =	103.5 cm	> 66 cm	No cumple

Tabla 4.9 Análisis de la excentricidad torsional en dirección Y.

En la Tabla 4.10 se realiza el procedimiento del cálculo de la suma algebraica del momento de áreas efectivas de los muros, con respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis Y. Para este caso se obtiene $e_x = 15.3 \text{ cm}$, la cual es menor que el 10% de la longitud correspondiente (5.92 m), cumpliendo el requisito.

Muro	L (cm)	H/L	F _{AE}	A(cm ²)	A*F _{AE} (cm ²)	X _i	A*F _{AE} *X _i
9	668	0.40	0.797	10020.00	7984	-296	-2363261
10	148	1.82	1.000	2220.00	2219	4	8878
11	573	0.47	0.821	8595.00	7059	296	2089597
	1389			20835.00	17263		-264787

ex₁ =	-15.3	cm	
Abs /ex/ =	15.3 cm	< 59 cm	Si cumple

Tabla 4.10 Análisis de la excentricidad torsional en dirección X.

- C) El Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015), indica que se deberá garantizar que la distribución de las cargas verticales soportadas por los muros sea colineal con los ejes de la cimentación, en todos los niveles. No se permitirá el uso de este método para sistemas con cimentaciones compensadas. Para este caso, la estructura en estudio cumple con este criterio.

- D) La relación entre longitud y ancho de la planta de la estructura no excederá de 2.

$$L (\text{Longitud}) = 6.68m$$

$$B (\text{Ancho}) = 5.92 m$$

$$\frac{L}{B} < 2$$

$$\frac{6.68}{5.92} = 1.128 < 2; \text{ Si cumple}$$

- E) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base de la estructura no excederá de 1.5 y la altura de la estructura no será mayor de 13 m.

$$H (\text{altura de la estructura}) = 5.4 m$$

$$B (\text{Dimensión Mínima}) = 5.92m$$

$$\frac{H}{B} < 1.5 \quad y \quad H < 13m$$

$$\frac{H}{B} = 0.91 < 1.5; \text{ Si cumple}$$

$$H = 5.4 < 13 m; \text{ Si cumple}$$

Como se observa en esta sección, no se cumple con una condición para la aplicación del método simplificado (MS); sin embargo, considerando que el MS es de aplicación sencilla y rápida, se empleará como primera aproximación para tener una idea general. Además, se realizará un análisis dinámico modal espectral con base en un modelo tridimensional para contar con resultados confiables para la etapa posterior del proyecto.

Uno de los fines de aplicar el MS, radica en realizar una comparación de las demandas de fuerza cortante en los muros, obtenidas tanto con el MS como con el método dinámico, ilustrando la variación en dichos valores para un caso en que de entrada se sabe que no debía aplicarse el MS. Es importante hacer notar que, en la práctica, se conoce de casos en que se emplea el MS aun cuando la estructura no cumple con los requisitos para su uso, simplemente con el argumento de ser una estructura pequeña.

Como se mencionó, esta ha sido una de las razones para que en las NTC el MS desapareciera en la versión de 2017 y 2020, y reapareciera con muchas más limitantes en la versión de 2023.

4.3.3 Aplicación del método simplificado.

En primera instancia se determina el peligro sísmico. En el Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015), se considera que la fuerza cortante basal de la estructura es igual a la ordenada espectral máxima normalizada, reducida por ductilidad, redundancia y sobrerresistencia, multiplicada por el peso total de la construcción.

Para la definición del espectro de diseño sísmico y, por ende, de la adecuada elección del coeficiente sísmico que corresponde a la estructura a revisar, se considera lo siguiente:

- A) **Clasificación del tipo de construcción**, en el Manual de Diseño de Obras Civiles, clasifica a las estructuras para vivienda como tipo B, debido a que en este tipo de estructuras se requiere un grado de seguridad convencional, pues son construcciones cuyo fallo estructural ocasionaría la pérdida de un número reducido de vidas y las pérdidas económicas son moderadas.

La estructura de vivienda en estudio pertenece, por tanto, al tipo B, y por sus características, está dentro del subgrupo B2, ya que no es una estructura de más de 13 metros de altura y no supera los 400 m² de área total construida.

B) Tipo de Terreno

Conforme al Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015), la ciudad de Tapachula, Chiapas, se encuentra ubicada en la Zona D (figura 4.7), una zona de intensidad sísmica muy alta (Tabla 4.11). El terreno donde se encuentra desplantada la estructura es un terreno tipo III, ya que en él se presentan grandes amplificaciones dinámicas.

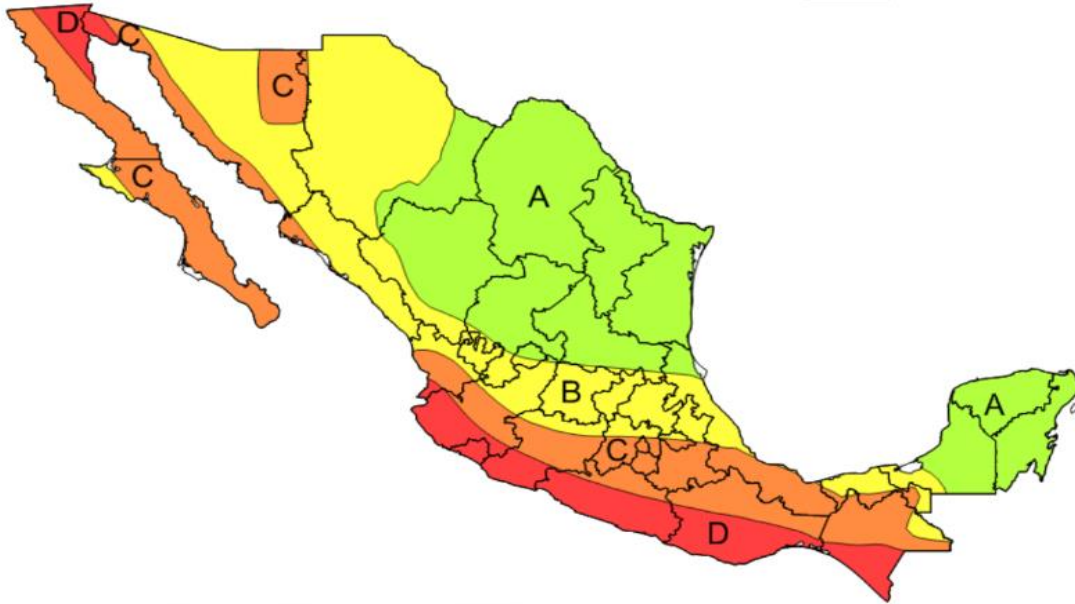


Figura 4.7 Regionalización Sísmica de la República Mexicana (MDOC-15, 2015)

Zona	Intensidad Sísmica
A	Baja
B	Moderada
C	Alta
D	Muy alta

Tabla 4.11 Intensidad sísmica conforme a la regionalización sísmica de la República Mexicana (MDOC-15, 2015)

C) Altura de la Construcción

Como se mencionó en el apartado 4.3.1 inciso E, la construcción tiene una altura de 5.4 metros, la cual no excede el límite de 13 metros, límite máximo para la aplicación del método simplificado.

D) Tipo de Piezas de Mampostería

El proyecto está resuelto empleando muros de mampostería confinada formados por bloques huecos de concreto y mortero de pegue.

En el Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015), se considera que la ordenada espectral máxima normalizada, se afecta por los factores de sobrerresistencia $R\langle T_e, R_o \rangle$ y ductilidad $Q'\langle T_e, Q \rangle$ que se muestran en la tabla 4.12, con lo que se toma en cuenta la capacidad de disipar energía de los diversos sistemas constructivos. Para el caso en estudio, se obtiene un factor de sobrerresistencia $R\langle T_e, R_o \rangle = 2$ y un factor de ductilidad $Q'\langle T_e, Q \rangle = 1.25$. R_o es un

factor de sobrerresistencia índice que depende del sistema estructural, que en este caso es de 2. En este caso, se considera un factor por redundancia unitario ($\rho = 1$).

Tipo de Muro	$Q'\langle T_e, Q \rangle$	$R\langle T_e, R_o \rangle$
Muros combinados con marcos dúctiles de concreto reforzado, o de placa de acero, o compuestos con los dos materiales o muros de madera contrachapada.	3	2
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas con refuerzo horizontal o malla	2	
Muros de carga de mampostería confinada de piezas macizas; mampostería de piezas huecas confinada y reforzada horizontalmente o mampostería de piezas huecas confinada y reforzada con malla		
Muros diafragma		
Muros de carga de mampostería combinada y confinada		
Muros de carga de mampostería de piezas huecas con refuerzo interior, o muros de madera de dula	1.5	
Muros combinados con marcos de concreto reforzado con ductilidad limitada		
Muros de carga de mampostería confinada de bloques huecos de concreto	1.25	
Muros de carga de mampostería que no cumplan las especificaciones para mampostería confinada ni para mampostería reforzada interiormente		

Tabla 4.12 Factores reductores para el método simplificado (MDOC-15, 2015).

Los factores antes mencionados, afectan a la ordenada espectral máxima, reduciéndola por sobrerresistencia, ductilidad y redundancia, por lo que, al multiplicarlos por el peso total de la estructura se obtiene la fuerza cortante sísmica en la base para el estado límite de prevención de colapso (ecuación 4.5.).

$$\frac{V_o}{W_t} = \frac{a(T_a, \beta) * A_{cd}(T_e)}{Q'(T_e, Q) R(T_e, R_o) \rho} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

donde:

V_o = Fuerza cortante basal

W_t = Peso total de la estructura.

$a\langle T_a, \beta \rangle = \text{Ordenada espectral máxima normalizada}$

$A_{cd}\langle T_e \rangle = \text{Factor de amplificación por comportamiento degradante}$

$Q' = \text{Factor de reducción por ductilidad}$

$R = \text{Factor de reducción por sobrerresistencia}$

$\rho = \text{Factor de redundancia}$

E) Espectro de diseño sísmico

Para calcular la ordenada espectral normalizada, se obtiene el espectro de diseño sísmico con base en el sitio de desplante de la estructura (figura 4.8). Los datos se obtienen del Programa de Diseño Sísmico (PRODISIS) de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). En la figura 4.8, se puede observar que, al asignar la ubicación en el PRODISIS, este arroja datos como la aceleración máxima en roca a_0^r correspondiente al lugar de referencia.

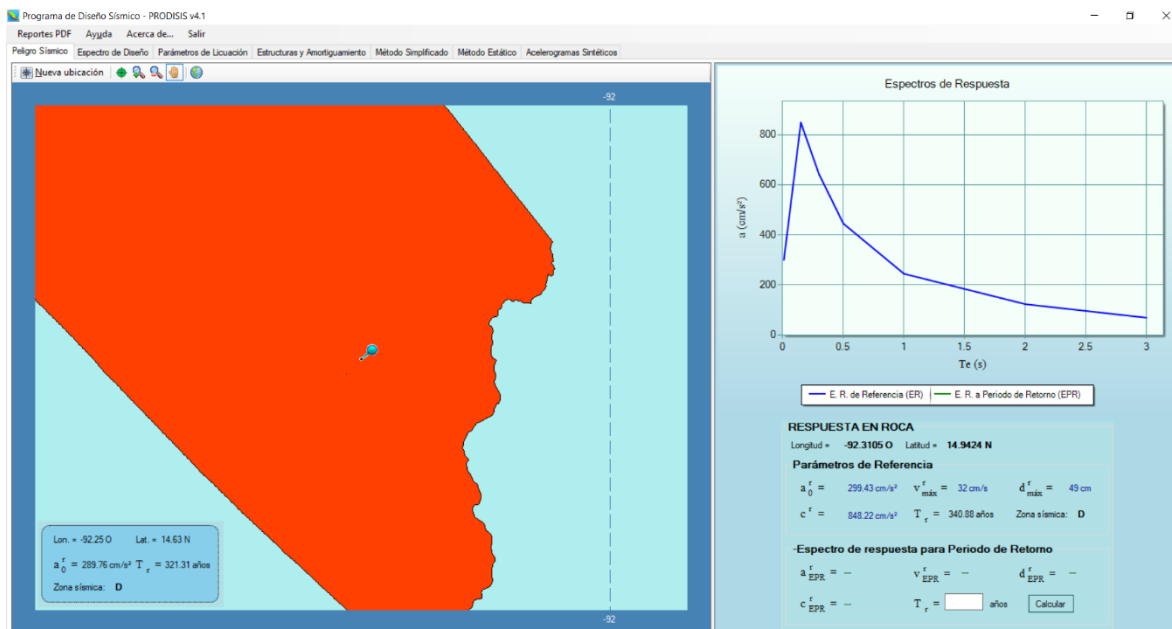


Figura 4.8 Asignación de la ubicación donde está ubicada la estructura en estudio en el PRODISIS.

Para la caracterización del terreno de cimentación, se consultó la publicación realizada por el grupo interuniversitario de ingeniería sísmica de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco y la Universidad Autónoma de Chiapas, quienes realizaron el primer mapa de microzonificación para la ciudad de Tapachula, en donde encontraron que la ciudad presenta un suelo muy homogéneo con periodos de vibración de que van de los 0.20 a los 0.35 segundos. Señalando

un periodo natural de vibración promedio para la mancha urbana de la ciudad de Tapachula de $T=0.28$ segundos y un coeficiente sísmico de 0.60 (Cruz et al., 1998).

Posteriormente, en 2011 se realizó una actualización a la microzonificación sísmica de Tapachula, Chiapas (Mora et al., 2011); en dicho estudio se encontró que dentro de la ciudad predominan periodos de vibración del suelo que varían desde 0.21 hasta 0.5 segundos y en zonas ubicadas en las periferias donde se encuentran colonias nuevas, el periodo de vibración del suelo rondan de 0.51 hasta 1.05 segundos, esto con influencia del rio Coatán y sus afluentes.

Con los datos obtenidos de los diferentes estudios, se obtuvo un periodo de vibración del suelo promedio para la ciudad de Tapachula, Chiapas. En la figura 4.9, se puede observar que en PRODISIS se procedió a caracterizar el terreno de la cimentación configurando la velocidad de propagación de ondas en el suelo y la profundidad del estrato rocoso, para obtener el periodo de vibración del suelo promedio de la ciudad de Tapachula.

En la figura 4.10 se puede observar que para obtener el espectro de diseño modificado se introducen los valores propuestos en el Manual de Diseño de Obras Civiles para la aplicación del método simplificado, dicho espectro se utiliza también posteriormente en el capítulo de modelado de la estructura para estimar las demandas por sismo a través de un análisis modal espectral.

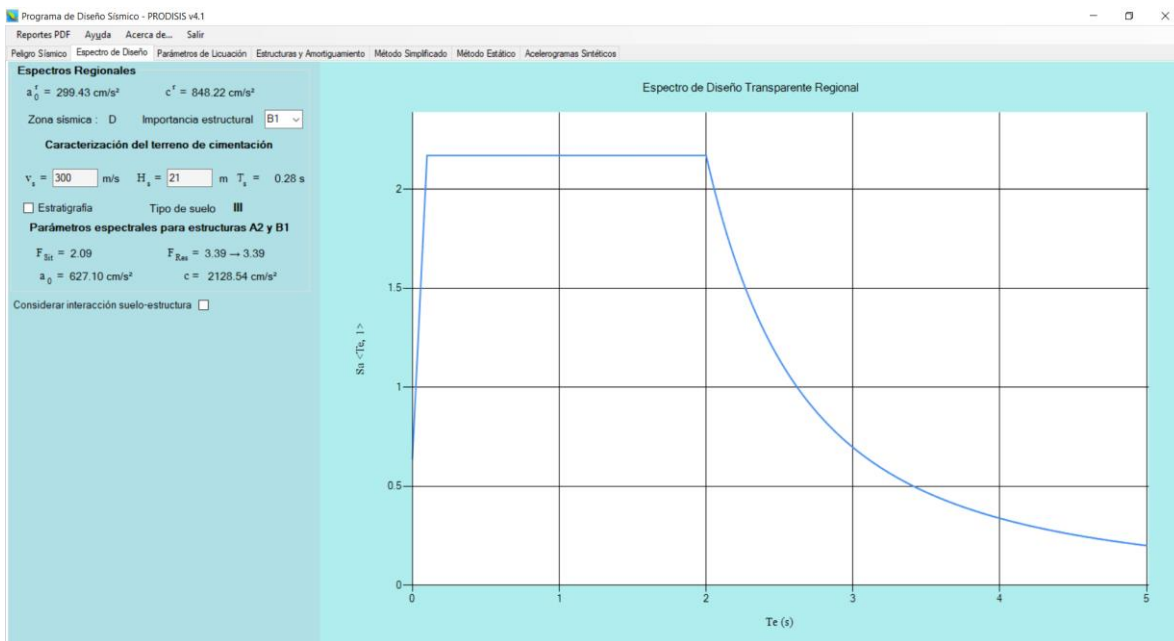


Figura 4.9 Caracterización del terreno de cimentación en PRODISIS.

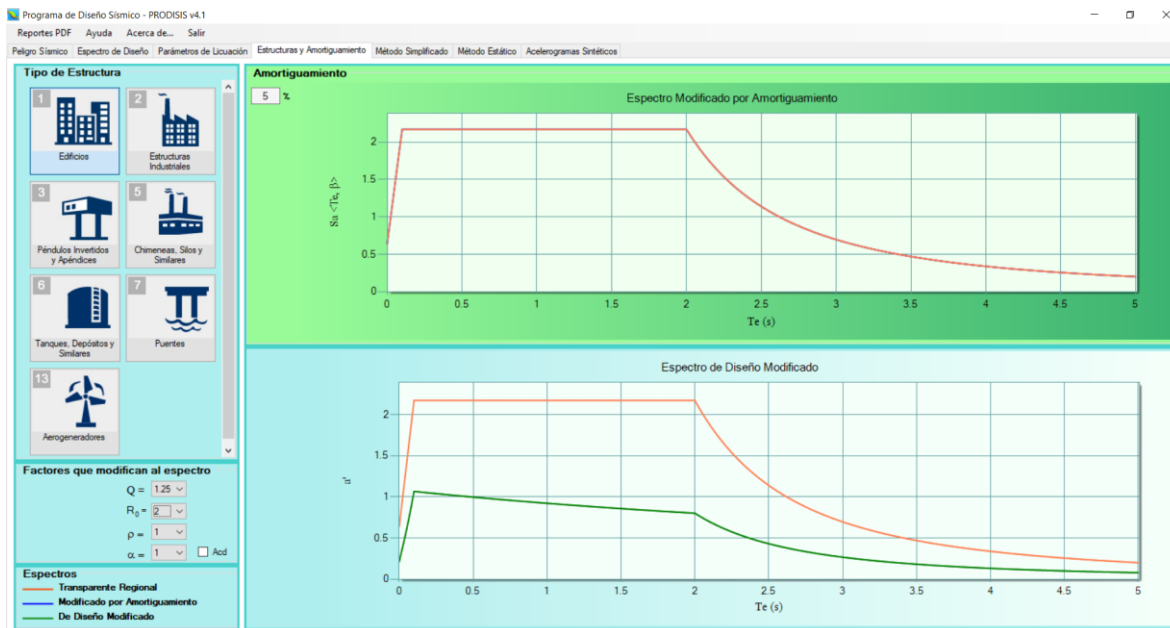


Figura 4.10 Obtención del espectro de diseño modificado en PRODISIS.

ESPECTRO DE ROCA		ESPECTRO DE SITIO	
	Zona sísmica	D	
Longitud	-92.3105 O	Latitud	14.9424 N
a0r:	299.43 cm/s ²	a0:	627.1 cm/s ²
c:	848.22 cm/s ²	c:	2128.54 cm/s ²
		Ta:	0.1 s
		Tb:	2 s
		Tc:	2 s
		k:	0.5
		r:	1

Tabla 4.13 Reporte de resultados obtenido de PRODISIS.

En la Tabla 4.13, se pueden observar los resultados del espectro de sitio que brinda el PRODISIS para la ciudad de Tapachula. Con lo que se obtiene la ordenada de espectro de diseño transparente regional $Sa(T_e, \beta)$, dicha ordenada está dada en gales ($\frac{cm}{s^2}$). No obstante, es conveniente representarla como fracción de la gravedad para el cálculo de fuerzas sísmicas, aplicando la ecuación 4.6.

$$a(T_e, \beta) = \frac{Sa(T_e, \beta)}{g} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$Sa(T_e, \beta) = 2128.54 \frac{cm}{s^2}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad} \left(981 \frac{cm}{s^2} \right)$$

Sustituyendo:

$$a\langle T_a, \beta \rangle = \frac{2128.54 \frac{cm}{s^2}}{981 \frac{cm}{s^2}}$$

$$a\langle T_a, \beta \rangle = 2.170$$

Una vez obtenida la ordenada máxima normalizada del espectro de diseño, esta se afecta por el factor de amplificación por comportamiento degradante, $A_{cd}\langle T_e \rangle$, el cual se aplica a estructuras ubicadas en terrenos tipo II o III, que sean susceptibles a desarrollar comportamientos histeréticos con degradaciones de rigidez y/o resistencia (como las estructuras de mampostería); para ello la ordenada del espectro de diseño se multiplica por $A_{cd}\langle T_e \rangle$, calculado mediante la ecuación 4.7.

$$A_{cd}\langle T_e \rangle = 0.8 + \frac{1}{2+5\left|2\frac{T_e}{T_s}-1\right|^5} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

donde:

$A_{cd}\langle T_e \rangle$ = Factor de amplificación por comportamiento degradante

T_e = Periodo de la estructura, descrito en el capítulo 5.

T_s = Periodo de vibración del suelo

Por lo que, para este caso, el factor por comportamiento degradante es el siguiente:

$$A_{cd}\langle T_e \rangle = 1.3$$

Aplicando el factor del comportamiento degradante, se obtiene la ordenada máxima normalizada de:

$$a\langle T_a, \beta \rangle * A_{cd}\langle T_e \rangle = 2.170 * 1.3$$

$$a\langle T_a, \beta \rangle * A_{cd}\langle T_e \rangle = 2.821$$

Con el valor de ordenada espectral modificada, se obtiene la fuerza cortante en la base, aplicando la ecuación 4.5 para la revisión del estado límite de prevención de colapso. Para resolver dicha ecuación se requiere conocer el peso total de la estructura, que en el apartado de cargas verticales en la tabla 4.7, se observa que es de 110,581.525 kg, lo que es igual a 110.581 toneladas. Con dicho valor y conociendo la ordenada espectral máxima normalizada con sus factores reductores.

$$\frac{V_O}{W_t} = \frac{a\langle T_a, \beta \rangle * A_{cd}\langle T_e \rangle}{Q'\langle T_e, Q \rangle R\langle T_e, R_O \rangle \rho} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

donde:

$V_o = \text{Fuerza cortante basal}$

$W_t = \text{Peso total de la estructura.}$

$a\langle T_a, \beta \rangle = \text{Ordenada espectral máxima normalizada (2.821)}$

$Q' = \text{Factor de ductilidad (1.25)}$

$R = \text{Factor de sobrerresistencia (2.5)}$

$\rho = \text{Factor de redundancia (1)}$

$$\frac{V_o}{W_t} = \frac{2.821}{1.25 * 2.5 * 1} = 0.90$$

El valor obtenido de 0.90 tiene congruencia con los valores de coeficiente sísmico para un espectro de diseño sísmico transparente (los cuales son los más recomendados para el sitio de desplante de estructuras tipo B por ser muy conservadores), proporcionados por el Manual de Obras Civiles de 1993 (MDOC-93, 1993), en el cual presentan una regionalización sísmica como la que se observa en la figura 4.11.

Para concluir con la obtención de la cortante en la base para el estado límite de prevención de colapso (V_{oc}), se despeja la ecuación 4.5:

$$V_{oc} = 0.9 * W_t$$

$$V_{oc} = 0.9 * 110.581 = 99.523 \text{ ton}$$

Por lo tanto, al aplicar el factor por cargas accidentales, se obtiene que la fuerza cortante última actuante en cada dirección sería:

$$V_{ux} = V_{uy} = 1.1 (99.523) = 109.475 \text{ ton}$$

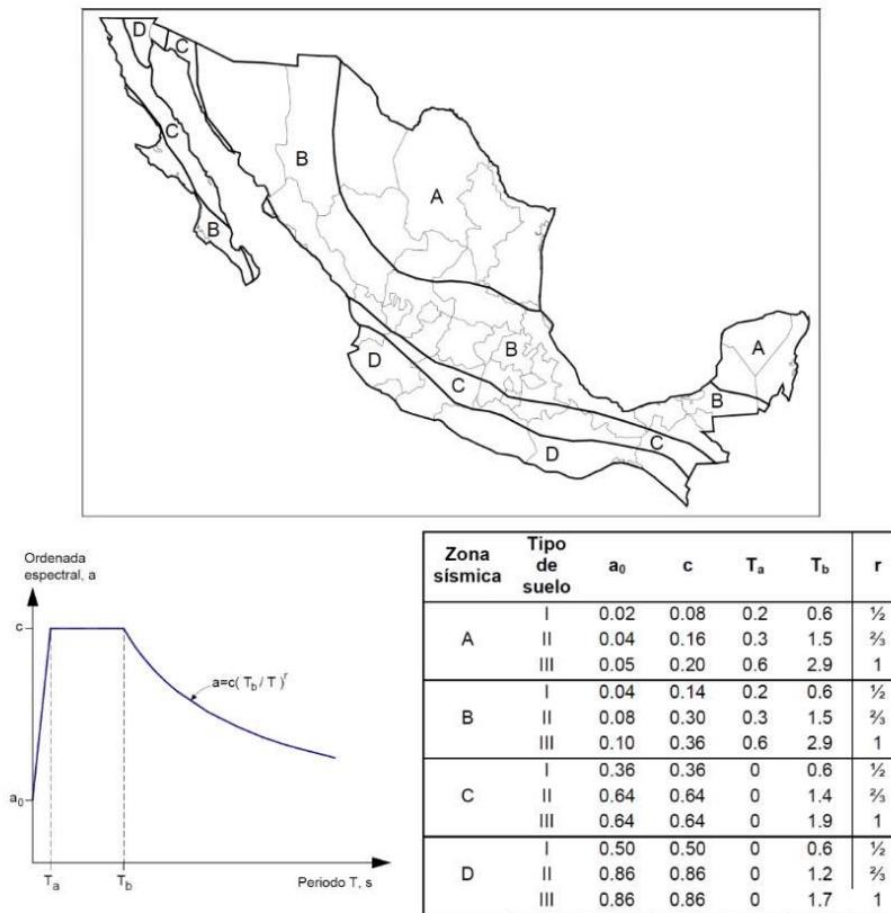


Figura 4.11 Regionalización sísmica de la República Mexicana y parámetros para el espectro de diseño para estructuras del grupo B (MDOC-93, 1993).

4.3.4 Revisión de demandas estimadas mediante el MS contra capacidades por fuerza cortante.

Finalmente, se procede a calcular la cortante resistente (V_R) de los muros en las dos direcciones ortogonales principales (direcciones X y Y). Para garantizar la seguridad global de la estructura de la vivienda, la fuerza cortante resistente debe ser mayor al cortante actuante (revisión gruesa), por ejemplo, mayor que el cortante basal (V_o) en la planta baja. Asimismo, es necesario que cada muro individual tenga la capacidad necesaria para soportar las demandas de fuerza cortante inducidas por cargas laterales.

$$V_R > V_o$$

Para el cálculo de la fuerza cortante resistente (V_R) se aplica la ecuación 4.8.

$$V_R = F_R(0.5V'_m A_T + 0.3W_t) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Donde las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM, 2020), indican los siguientes valores:

$F_R = 0.7$ (*Factor de reducción de resistencia para fuerza cortante*)

$V'_m = 2 \frac{kg}{cm^2}$ (*Resistencia a cortante de la mampostería*)

$A_T =$ *Área efectiva del muro en la dirección de análisis*

$W_T =$ *Peso total de la estructura*

En la tabla 4.14, se puede observar el área efectiva total de muros en dirección X, al aplicar la ecuación 4.8, se tiene que la fuerza cortante Resistente (V_{Rx}) en dirección X, es de 20.95 ton. Al comparar V_{Rx} con la fuerza cortante actuante en la base para el estado límite de prevención del colapso $V_{oc} = 109.475 \text{ ton}$, se puede observar que no se cumple la condición $V_{Rx} > V_{oc}$.

Esto indica que, si se quiere incrementar la seguridad de la estructura, es necesario realizar una propuesta de rehabilitación para incrementar la rigidez y resistencia de la estructura en dirección X.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante en la base de muro (Vu) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Vrm > Vu
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	2674.00	1586.34	No cumple
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	3778.44	1843.42	No cumple
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	2569.53	3874.12	Cumple
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	2393.44	1805.44	No cumple
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	9079.84	4988.89	No cumple
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	5770.92	3071.63	No cumple
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	3987.38	1876.92	No cumple
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	4111.49	1905.81	No cumple
		ΣLx	842					Totales	18504.89	38091.14		20952.56	

Tabla 4.14 Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección X.

$$V_{Rx} = F_R(0.5V'_m A_T + 0.3W_t)$$

$$V_{Rx} = 0.7[(0.5 * 2 \frac{kg}{cm^2} * 18504.89 cm^2) + (0.3 * 38,091.14 kg)]$$

$$V_{Rx} = 20,952.56 kg = 20.95 ton$$

En la tabla 4.15 se observa el área efectiva total de muros en dirección Y, y aplicando la ecuación 4.8, se obtiene que la fuerza cortante resistente (V_R) en dirección Y, es de 24.99 toneladas. Al comparar V_{Ry} con la fuerza cortante actuante en la base para el estado límite de prevención del colapso $V_{oc} = 109.475 \text{ ton}$, se observa que tampoco se cumple la condición $V_{Ry} > V_{oc}$ por lo cual se tiene que realizar una propuesta de rehabilitación integral, para incrementar también la resistencia y rigidez de la estructura en dirección Y.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (cm) (H)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm ²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum)	Fuerza Cortante en la Base de Muro (Vu)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm)	Vrm>Vu
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	23202.82	10989.71	No cumple
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	18245.37	5800.55	No cumple
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	14012.94	8203.40	No cumple
		ΣLy	1389					Totales	17262.84	61474.62		24993.66	

Tabla 4.15 Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección Y.

$$V_{Ry} = F_R(0.5V'_m A_T + 0.3W_t)$$

$$V_{Ry} = 0.7[(0.5 * 2 \frac{kg}{cm^2} * 17262.84 cm^2) + (0.3 * 61,474.62 kg)]$$

$$V_{Ry} = 24.99 \text{ ton}$$

En la tabla 4.16, se compara la cortante resistente de cada muro de mampostería de la estructura (V_{rm}) con la cortante en la base de cada muro (V_m), para satisfacer las condiciones de seguridad estructural de cada uno de los muros de la estructura ante fuerzas sísmicas para un estado límite de prevención de colapso, se debe cumplir con la condición $V_{rm} > V_m$. En este caso la carga viva considerada es la que tiene intensidad instantánea (carga viva reducida), dichos valores se encuentran en la tabla 4.3.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante en la base de muro (Vu) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Vrm > Vu
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	2674.00	1586.34	No cumple
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	3778.44	1843.42	No cumple
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	2569.53	3874.12	Cumple
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	2393.44	1805.44	No cumple
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	9079.84	4988.89	No cumple
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	5770.92	3071.63	No cumple
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	3987.38	1876.92	No cumple
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	4111.49	1905.81	No cumple
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	23202.82	10989.71	No cumple
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	18245.37	5800.55	No cumple
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	14012.94	8203.40	No cumple
12	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	1378.405	1243.57	1253.38	Cumple
13	A	1-3	208	270	15	1.30	0.983	3120	3066.05	3343.69	3016.61	2848.41	No cumple
14	A	2-3	65	270	15	4.15	1.500	975	1462.10	1277.325	1152.38	1291.71	Cumple
15	B	2-3	174	270	15	1.55	0.995	2610	2598.24	4306.32	3885.07	2723.10	No cumple

16	C	1-2	300	270	15	0.90	0.933	4500	4200.53	5666.5	5112.20	4130.33	No cumple
17	E	2-3	205	270	15	1.32	0.984	3075	3026.03	3915.025	3532.05	2940.38	No cumple
18	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2041.625	1841.91	1377.52	No cumple
19	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2104.125	1898.30	1390.65	No cumple
20	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	10045.24	9062.61	7698.29	No cumple
21	2	A-B	253	270	15	1.07	0.959	3795	3640.99	5254.915	4740.88	3652.22	No cumple
22	2	C-F	249	270	15	1.08	0.962	3735	3591.63	6041.695	5450.69	3782.89	No cumple
23	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	8312.515	7499.38	6687.24	No cumple

Tabla 4.16 Tabla comparativa de la fuerza cortante actuante en la base de muros y cortante resistente.

Para el caso particular de cada uno de los muros de mampostería confinada que integran la vivienda, obtenida la fuerza cortante resistente para cada muro (V_{rm}) con la ecuación 4.8 y obtenida la fuerza cortante actuante en cada muro (V_u) con la ecuación 4.5, se puede observar que la condición ($V_{rm} > V_u$), no se cumple para ninguno de los muros con excepción únicamente de los muros 3 (perteneciente a la planta baja), 12 y 14 (pertenecientes a la planta alta).

Este análisis preliminar indica la necesidad de plantear una propuesta de rehabilitación, con la finalidad de modificar y mejorar el comportamiento de la estructura ante un evento sísmico. Sin embargo, para este fin, evidentemente se requiere realizar un análisis dinámico modal espectral en tres dimensiones (análisis riguroso), pues como se comentó, el MS solamente se empleó con los fines comentados en este capítulo.

En el Apéndice A se presenta una comparativa de las estimaciones de las demandas fuerza cortante en cada muro, determinadas tanto mediante el método simplificado como mediante el método riguroso, que en este caso se basa en un análisis modal espectral de un modelo tridimensional en que los muros se modelan empleando elementos finitos, esto con la finalidad de tener una referencia sobre las variaciones en demandas que arroja el MS en comparación con un método riguroso.

CAPÍTULO 5.

ANÁLISIS MODAL **ESPECTRAL DE LA** **VIVIENDA.**

5.1 Introducción.

Debido a que la estructura no cumple con todos los requisitos para la aplicación del método simplificado, y con base en los resultados preliminares obtenidos con dicho método (demanda sísmica mayor que la capacidad sísmica), en esta sección se realiza un análisis dinámico modal espectral de la estructura en estudio con base en un modelo tridimensional desarrollado en el software Robot Structural Analysis Professional.

5.2 Caracterización de los materiales.

El proceso de modelación comienza con la asignación de las propiedades de cada uno de los materiales que componen la estructura de mampostería, para la asignación de los valores de las propiedades de cada material se verifica el cumplimiento de la normatividad vigente. En el caso de elementos de concreto los valores de las propiedades de cada tipo de concreto se basa en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-DCEC, 2020).

En primer lugar, se indica al software las propiedades de los concretos que son utilizados para las losas macizas de concreto de 10 cm de espesor, se observa en la figura 5.1. que se ha asignado un concreto de resistencia $F'c = 200 \frac{kg}{cm^2}$. En el caso de los elementos confinantes como castillos y columnas, en la figura 5.2 se puede observar que para estos miembros se ha asignado un concreto de resistencia $F'c = 150 \frac{kg}{cm^2}$.

Definición del material

Acero Hormigón Aluminio Madera Otros

Nombre: H-200 Descripción: CONCRETO F'C 200 KG/CM2

Elasticidad

módulo de Young, E: 113137.09 (kgf/cm2)

coeficiente de Poisson, v: 0.2

coeficiente de Kirchoff, G: 47140.45 (kgf/cm2)

Resistencia

Característico 200.00 (kgf/cm2)

Muestra: Cilíndrico

Peso específico (densidad): 2400.00 (kgf/m3)

Dilatación térmica: 0.000010 (1/°C)

Coeficiente de 0.04

Agregar Eliminar OK Cancelar Ayuda

Figura 5.1 Asignación de propiedades del material de concreto

$$F'c = 200 \frac{kg}{cm^2}.$$

Figura 5.2 Asignación de propiedades del material de concreto

$$F'c = 150 \frac{kg}{cm^2}.$$

Para la asignación de propiedades de los muros de mampostería de la casa habitación se toman en cuenta los valores proporcionados por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM, 2020). Los valores asignados a dicho material se pueden observar en la figura 5.3.

Figura 5.3 Asignación de propiedades del material mampostería.

5.3 Definición de las secciones de los elementos que integran el modelo.

Para los distintos elementos que integran al modelo de casa habitación se propusieron secciones variables para los elementos confinantes, como castillos de sección transversal 15x15 cm, también castillos de sección transversal de 15x20 cm. En el caso de las cadenas se propusieron secciones transversales de 15x20 cm y de 20x25 cm. En la figura 5.4 se observan las diferentes secciones definidas para los elementos confinantes de concreto.

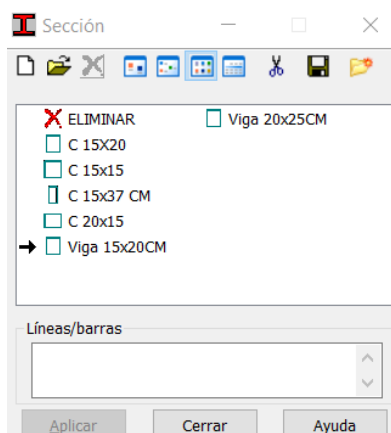


Figura 5.4 Definición de secciones para elementos confinantes de concreto.

En el caso de los muros de mampostería, se define un espesor uniforme de 15 cm, y se define el tipo de material del cual están elaborados, que en este caso es de mampostería (las propiedades de dicho material se observan en la figura 5.2). En la figura 5.5 se puede observar la definición del espesor de muros y tipo de material.

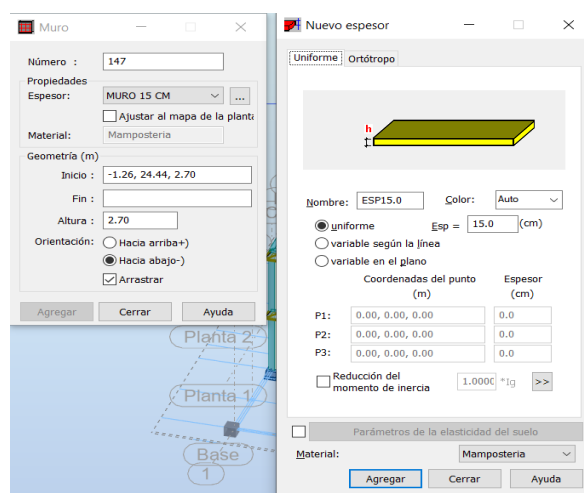


Figura 5.5 Definición de espesor y material de muros.

Para las losas de concreto se definieron las propiedades de dichos elementos, como espesor, tipo de material, modelo de cálculo. El espesor de las losas es de 10 cm, construidas de concreto $F'c = 200 \frac{kg}{cm^2}$, con un modelo de cálculo del elemento como diafragma rígido. En la figura 5.6 se observa la asignación de las propiedades de las losas.

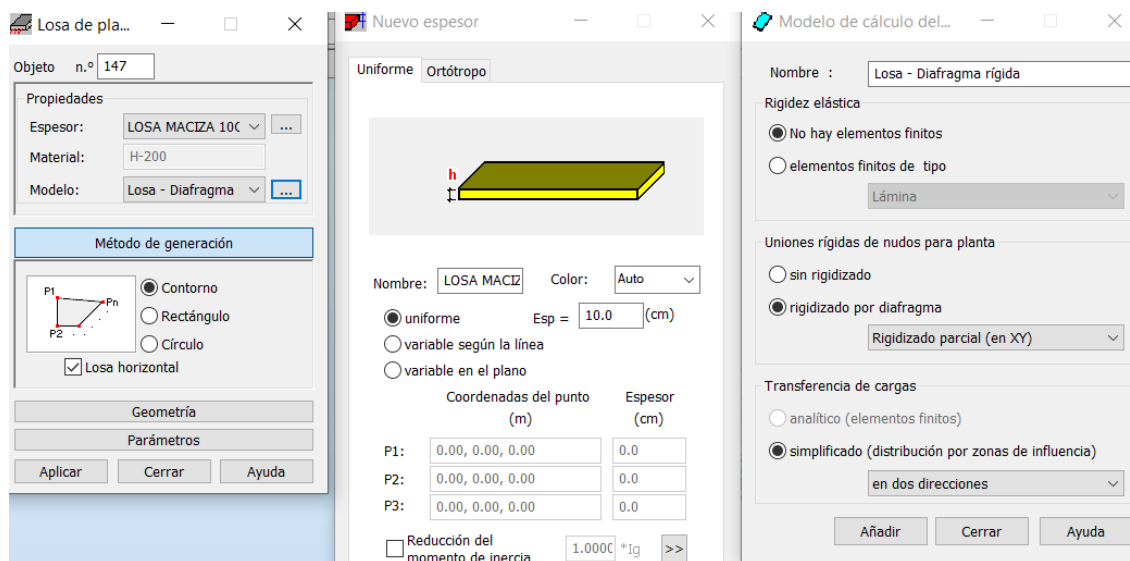


Figura 5.6 Definición de las propiedades de losas.

Definidas las propiedades mecánicas y geométricas de los miembros estructurales, se procede a la elaboración del modelo de la casa habitación de mampostería confinada, con base en lo especificado en los planos arquitectónicos. En las figuras 5.7 y 5.8 se pueden observar diferentes vistas del modelo de la casa habitación de mampostería confinada, el cual fue elaborado en el software Robot Structural Analysis Professional.

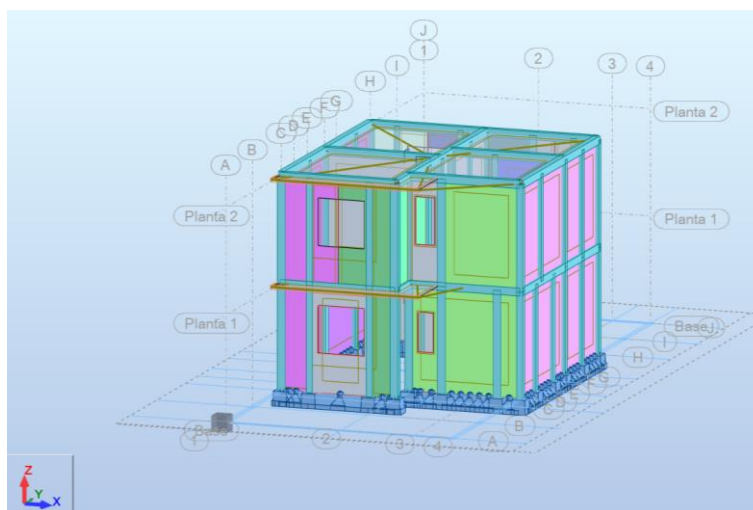


Figura 5.7 Modelo de casa habitación de mampostería confinada (vista frontal).

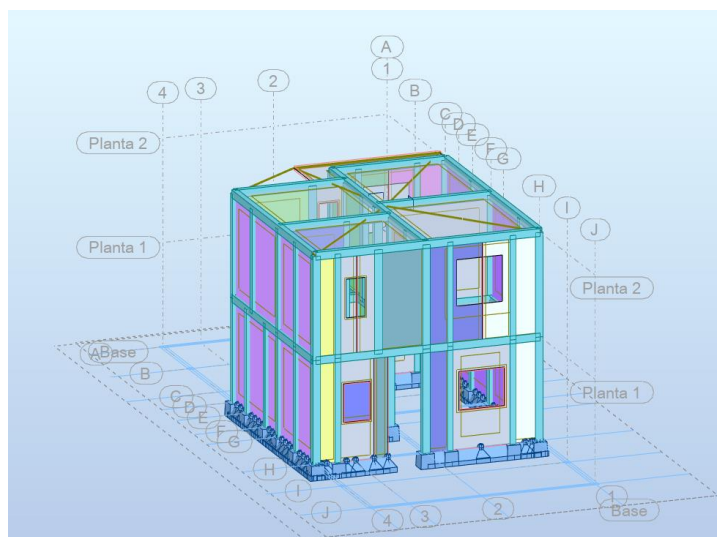


Figura 5.8 Modelo de casa habitación de mampostería confinada (vista trasera).

5.4 Definición de casos de carga.

En el apartado de cargas del software Robot Structural Analysis Professional se establecen los siguientes casos de carga:

- Peso propio
- Sobrecarga muerta
- Sobrecarga variable máxima
- Sobrecarga variable instantánea

En la figura 5.9 se puede observar que, para el caso de carga de peso propio, se considera el peso de todos los elementos estructurales del modelo, como una carga permanente por acción de la gravedad. En la figura 5.10 se puede observar que para el caso de sobrecarga muerta se establece para losas de azoteas un valor de $90 \frac{kg}{m^2}$ y para losas de entrepiso de $122 \frac{kg}{m^2}$, dicha sobre carga se debe a los recubrimientos, instalaciones y acabados que no se contemplan en el peso propio de la estructura, dichos valores se obtienen en el proceso de cálculo de bajada de cargas descrito en el apartado 4.1.1. Análisis de cargas.

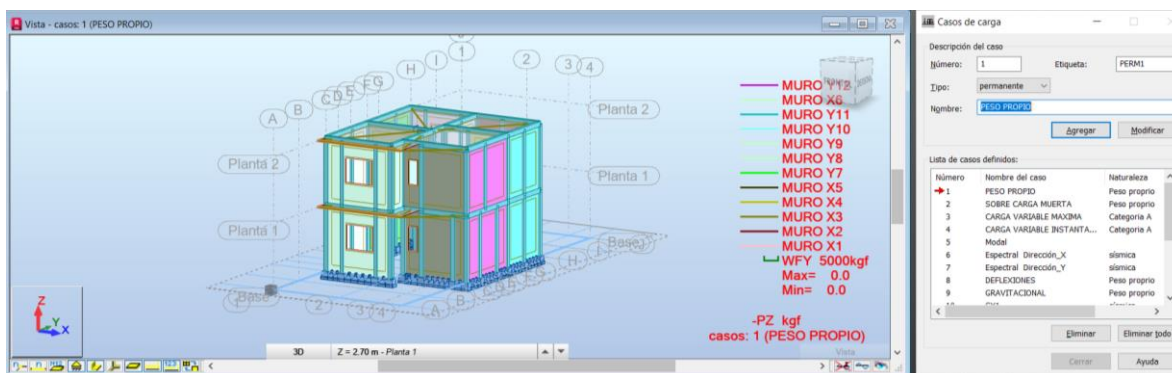


Figura 5.9 Definición del caso de carga de peso propio.

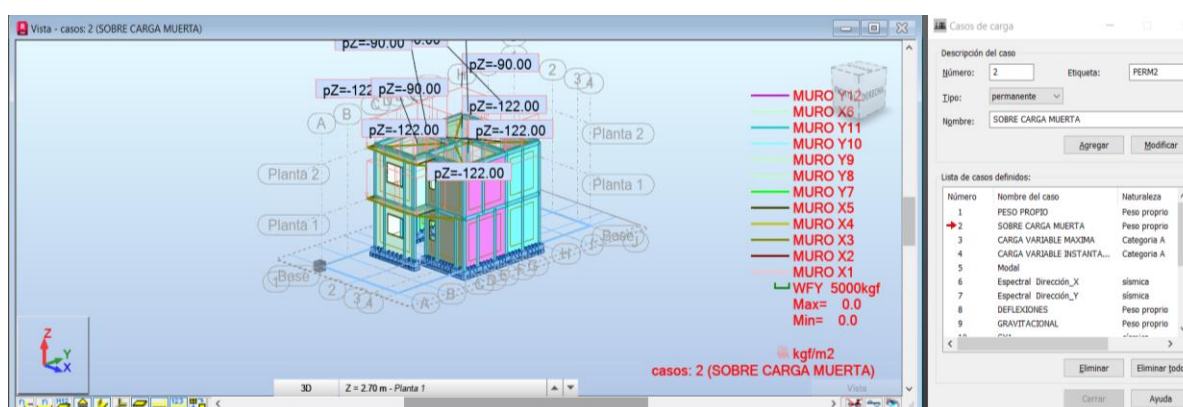


Figura 5.10 Definición del caso de carga de sobrecarga muerta.

Para los casos de carga variable máxima y carga variable instantánea, se utilizan los valores indicados por las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CADEE, 2017). Para carga variable máxima en casas habitación indica una carga de $100 \frac{kg}{m^2}$ para losas de azotea y de $190 \frac{kg}{m^2}$ para losas de entrepiso, las normas indican que, estas cargas se emplean para el diseño estructural por fuerzas gravitacionales, así como para el diseño estructural de los cimientos. En el caso de la carga variable instantánea la norma indica una carga de $70 \frac{kg}{m^2}$ para losas de azotea y una carga de $100 \frac{kg}{m^2}$ para losas de entrepiso, las cuales se usan para el diseño sísmico.

En las figuras 5.11 y 5.12 se puede observar la asignación de las cargas variables máximas e instantáneas en el modelo de casa habitación.

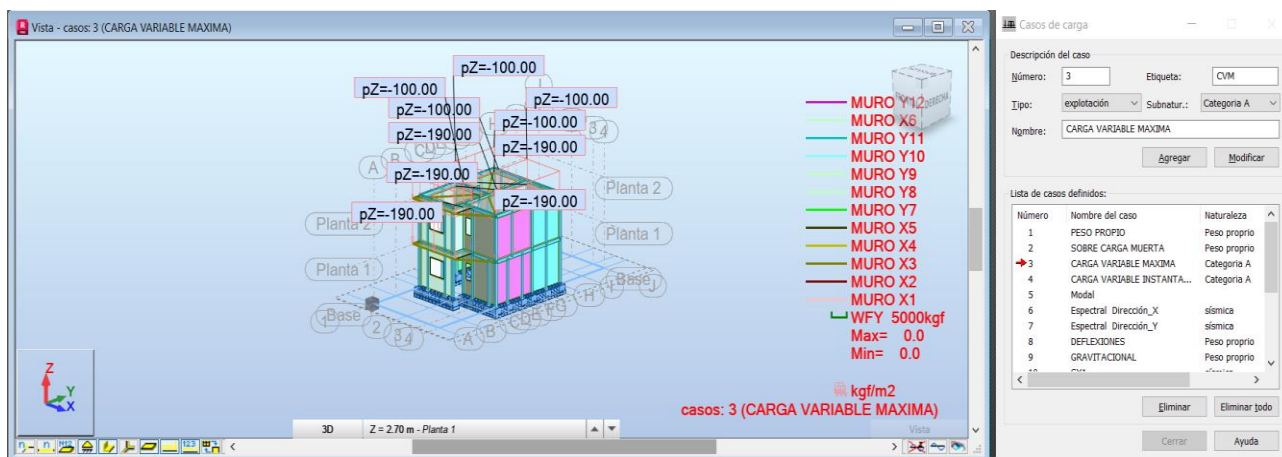


Figura 5.11 Definición del caso de carga de sobrecarga variable máxima.

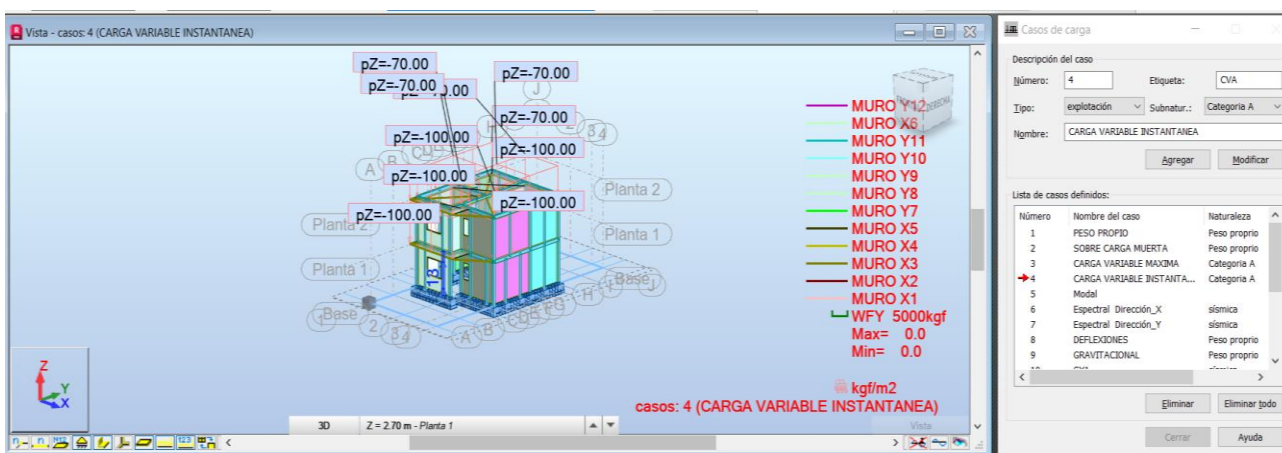


Figura 5.12 Definición del caso de carga de sobrecarga variable instantánea.

5.5 Definición de análisis modal espectral.

Para la definición del análisis modal se requiere indicar en el software Robot Structural Analysis Professional (RSAP), el número de modos naturales de vibración que, ordenados según valores decrecientes de sus periodos de vibración, sean necesarios para que la suma de sus pesos efectivos sea mayor que el 90% del peso total de la estructura. Se considera una excentricidad en cada dirección de análisis del 5%.

Se establece el espectro de respuesta en las direcciones X y Y, para ello se obtiene la información correspondiente del espectro de diseño sísmico modificado en el software PRODISIS, descrito en el capítulo 4.2.4 Aplicación del método simplificado, inciso E) Obtención de ordenada espectral modificada. Una vez obtenidos los datos del espectro para diseño sísmico de la ciudad de Tapachula, Chiapas, se asigna el espectro en las direcciones correspondientes.

Para ello, se crean dos casos de análisis, sismo espectral X (SespX) y sismo espectral Y (SespY). En la figura 5.13 se observa el espectro empleado en el análisis, en el cual las abscisas (eje x) definen el periodo del suelo (seg) y las ordenadas (eje y) la aceleración en términos de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$). Aunado a esto, se definen las direcciones de análisis del espectro (X y Y). Se considera el 5% del amortiguamiento crítico.

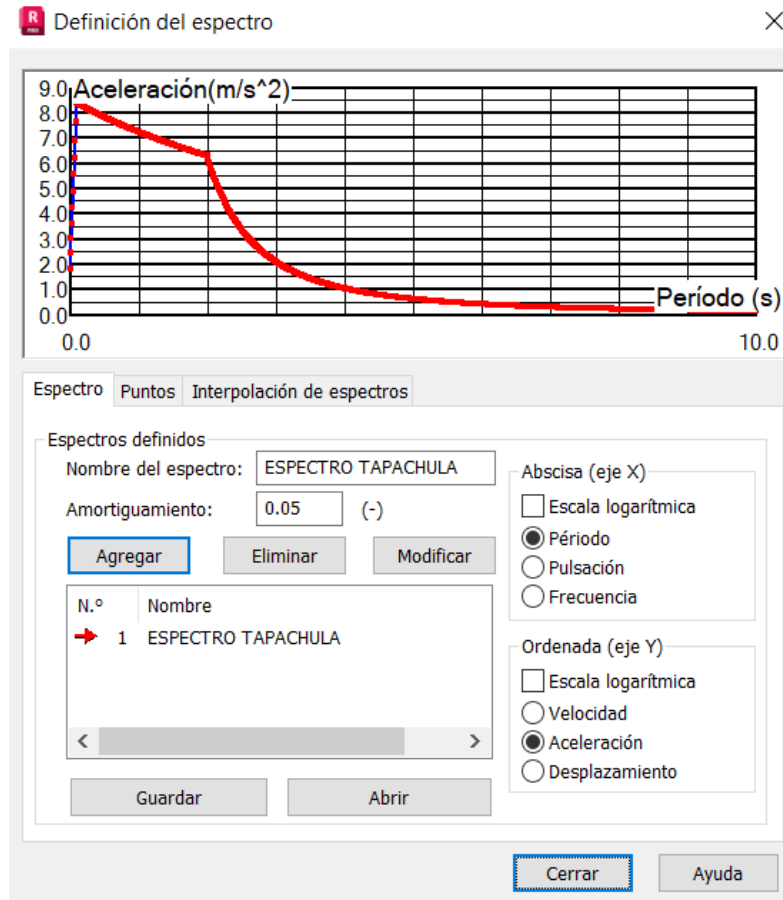


Figura 5.13 Definición del espectro sísmico en RSAP.

5.6 Definición de combinaciones de carga.

Como se menciona en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por sismo (NTC-DS, 2017), las estructuras se analizan para los efectos de las excitaciones sísmicas, considerando carga muerta y los valores instantáneos de la carga viva especificada en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las edificaciones sin factor de carga (NTC-CADEE, 2017).

Se consideran las siguientes abreviaciones:

- PP (Peso propio)
- SCM (Sobrecarga muerta)
- CVA (Carga variable instantánea)
- CVM (Carga variable máxima)
- SespX (Sismo espectral en dirección X)
- SespY (Sismo espectral en dirección Y)

Con base en lo anterior, se consideran las siguientes combinaciones de carga:

- Sx1: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} + 1.1 \text{ SespX} + 0.33 \text{ SespY}$
- Sx2: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} - 1.1 \text{ SespX} + 0.33 \text{ SespY}$
- Sx3: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} + 1.1 \text{ SespX} - 0.33 \text{ SespY}$
- Sx4: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} - 1.1 \text{ SespX} - 0.33 \text{ SespY}$
- Sy1: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} + 0.33 \text{ SespX} + 1.1 \text{ SespY}$
- Sy2: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} + 0.33 \text{ SespX} - 1.1 \text{ SespY}$
- Sy3: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} - 0.33 \text{ SespX} + 1.1 \text{ SespY}$
- Sy4: $1.1 \text{ PP} + 1.1 \text{ SCM} + 1.1 \text{ CVA} - 0.33 \text{ SespX} - 1.1 \text{ SespY}$

Asimismo, para la revisión de deflexiones y cargas gravitacionales se agregaron las siguientes combinaciones de carga:

- Deflexiones: $\text{PP} + \text{SCM} + \text{CVM}$
- Gravitacional: $1.3 \text{ PP} + 1.3 \text{ SCM} + 1.5 \text{ CVM}$

5.7 Resultados del análisis modal espectral.

5.7.1 Revisión de distorsiones de entrepiso

Como se menciona en el Manual de Diseño de Obras Civiles (MDOC-15, 2015): *“las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso, calculadas para las ordenadas espectrales modificadas, multiplicados por los factores de ductilidad, sobrerresistencia y redundancia para estructuras de mampostería confinada y*

divididas entre la diferencia de altura correspondiente no debe exceder las distorsiones de entrepiso indicadas para los diferentes estados límite”.

Dicho manual indica que, para un sistema estructural de muros de carga de mampostería confinada de bloques huecos de concreto, como es el caso del sistema estructural de la vivienda en estudio, se tiene un valor de 0.003 como distorsión máxima admisible. En la tabla 5.1 se observa que la estructura cumple con los límites admisibles de distorsión, en la figura 5.14 se pueden observar los valores de distorsión de entrepiso (desplazamiento relativo entre altura de entrepiso) en el caso más desfavorable obtenidos de Robot Analysis Structural Professional (RSAP).

Planta	Máxima distorsión de entrepiso. Modelo en RSAP.	Factor de ductilidad (Q)	Factor de sobre resistencia (R)	Distorsión obtenida	Distorsión permisible (MOC 2015)	Criterio
2	0.000479	1.25	2.0	0.00119	0.003	Cumple
1	0.000791	1.25	2.0	0.00197	0.003	Cumple

Tabla 5.1 Revisión de distorsión admisible para cada entrepiso para el estado límite de prevención del colapso.

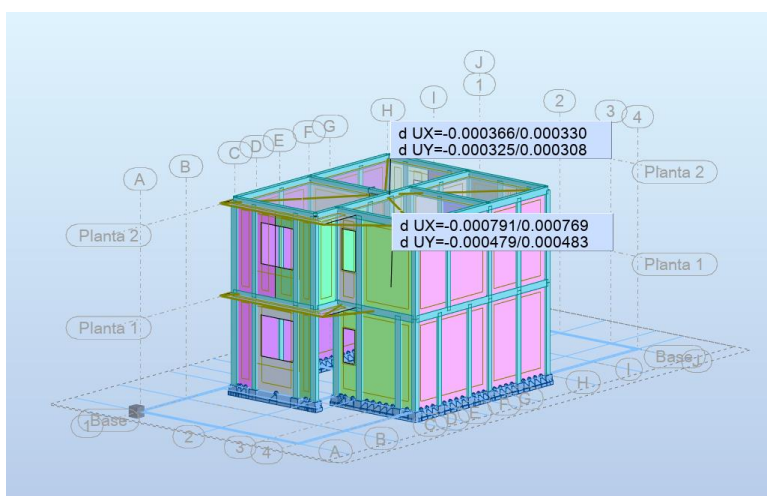


Figura 5.14 Distorsiones obtenidas de RSAP.

5.7.2 Revisión de cortantes basales estáticos y dinámicos.

Como se recomienda en el MDOC-15 (MDOC-15, 2015), se verifica que los cortantes basales dinámicos en las direcciones de análisis, sean al menos el 70% de los cortantes basales estáticos.

Lo anterior indica verificar el cumplimiento de las siguientes condiciones:

$$\frac{SespX}{S_x} > 0.70$$

$$\frac{SespY}{S_y} > 0.70$$

En las figuras 5.15 y 5.16 se observa que la fuerza cortante basal dinámica para la dirección de análisis X (SespX), es de 66.500 ton, y la fuerza cortante basal dinámica para la dirección de análisis Y (SespY), es de 58.729 ton.

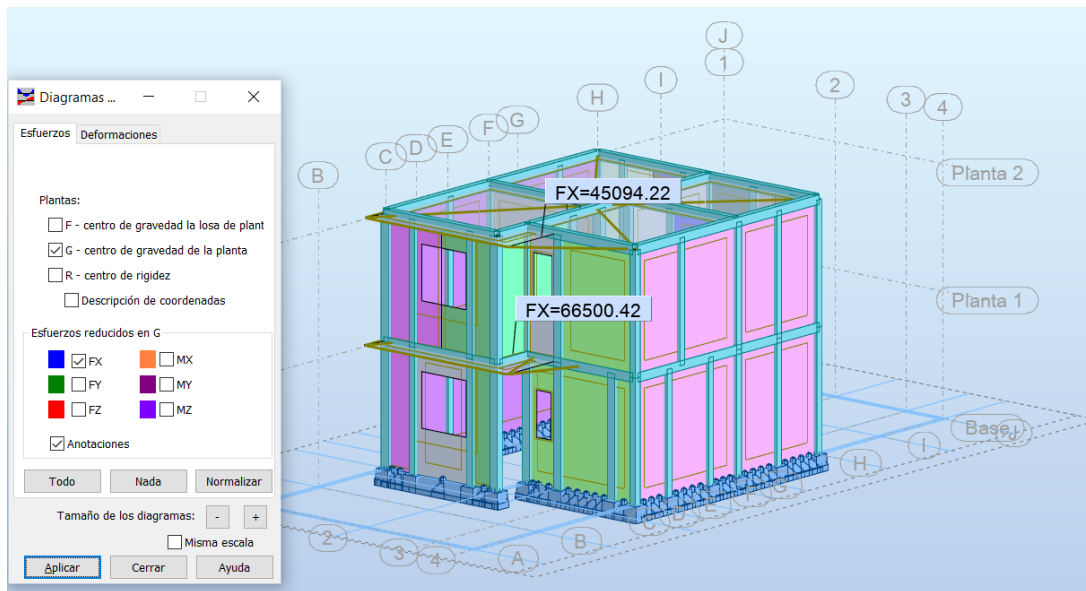


Figura 5.15 Cortante basal dinámico en dirección X.

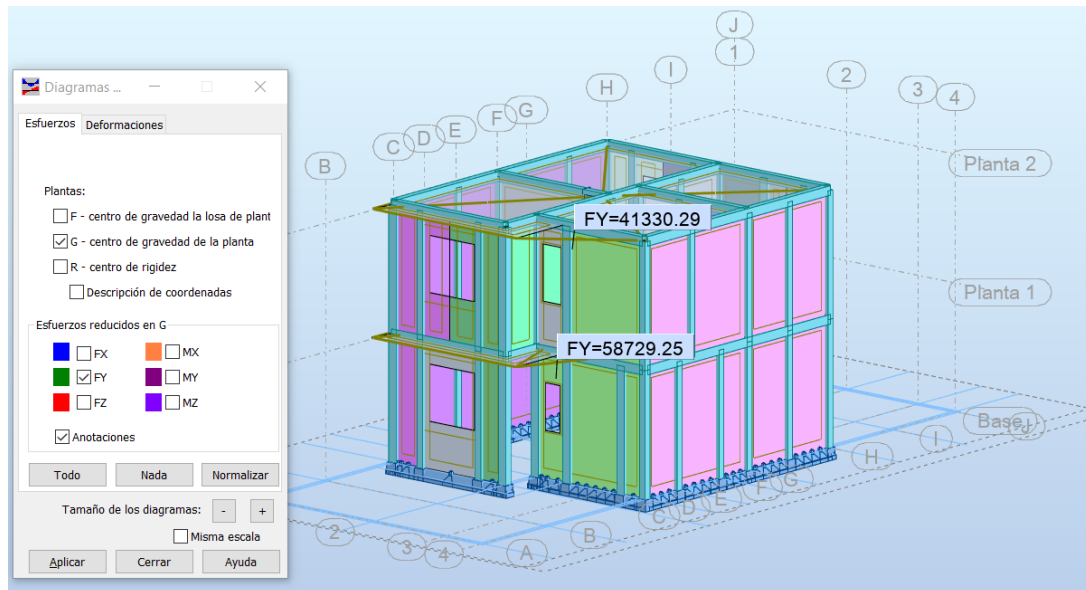


Figura 5.16 Cortante basal dinámico en dirección Y.

Las fuerzas cortantes basales estáticas en direcciones X y Y se calculan con base en las aceleraciones asociadas a los periodos de vibración de la estructura (T_e) en cada dirección, los cuales se obtienen del análisis modal espectral en RSAP (figuras 5.17 y 5.18), como se observa en la tabla 5.2.

Periodo (Seg)	Aceleración ($\frac{m}{s^2}$)
$T_{ex} = 0.108$	8.369
$T_{ey} = 0.093$	7.635

Tabla 5.2 Aceleraciones asociadas a los periodos de vibración de la estructura en cada dirección principal.

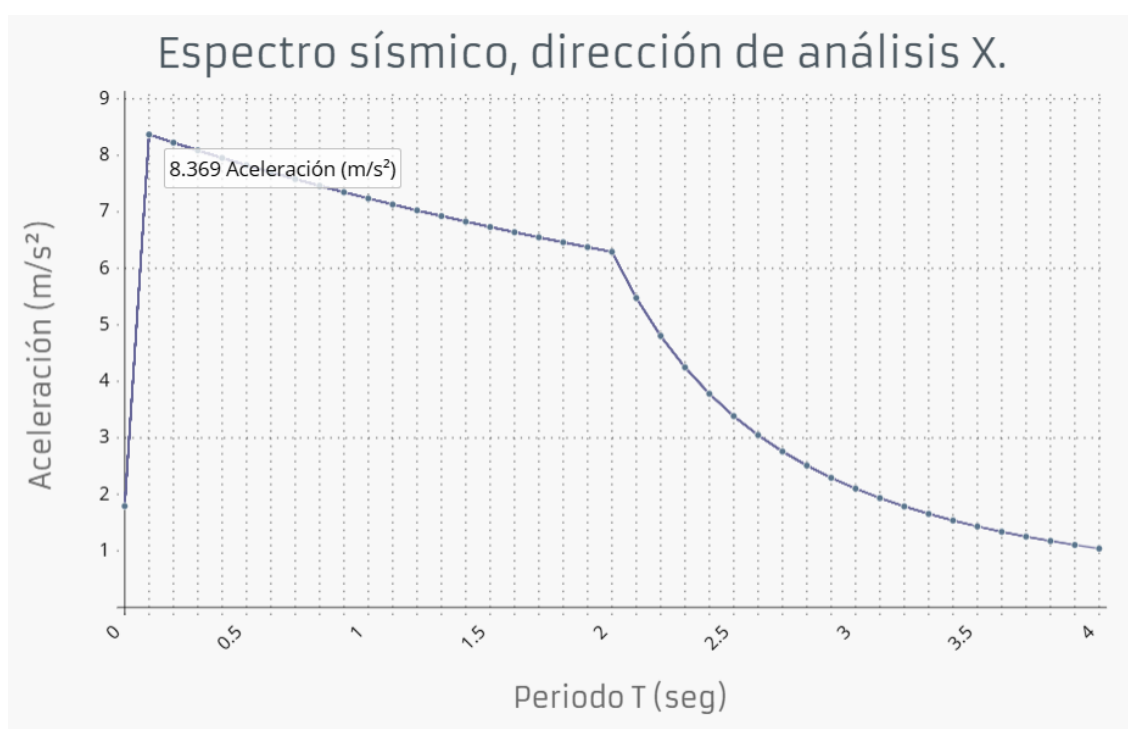


Figura 5.17 Aceleración correspondiente al periodo de vibración principal de la estructura en dirección X ($T = 0.108$ seg), dentro del espectro sísmico.

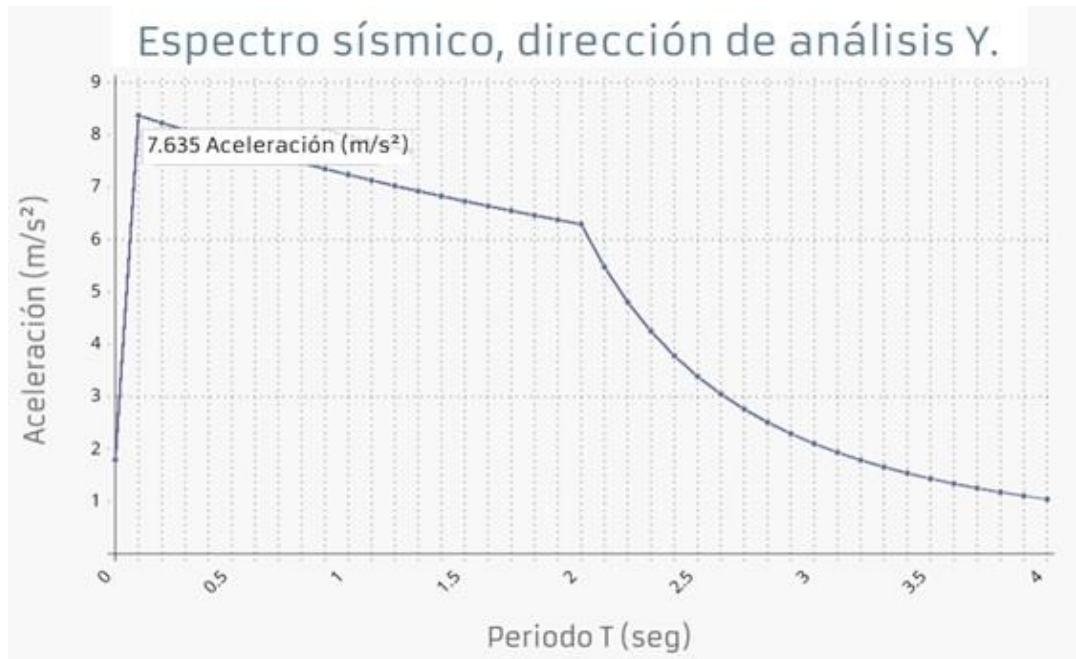


Figura 5.18 Aceleración correspondiente al periodo de vibración principal de la estructura en dirección Y ($T=0.093$ seg), dentro del espectro sísmico.

El factor de degradación de rigidez (A_{cd}), se obtiene mediante la ecuación 4.7.

$$A_{cd}(T_e) = 0.8 + \frac{1}{2+5\left|2\frac{T_e}{T_s}-1\right|^5} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

donde:

$A_{cd}(T_e)$ = Factor de amplificación por comportamiento degradante

T_e = Periodo de la estructura

T_s = Periodo de vibración del suelo (0.28 seg)

Resolviendo la ecuación 4.7 tenemos que:

$$A_{cd}(T_e) = 1.3$$

La fuerza cortante en la base calculada estáticamente en dirección X y Y, para la revisión del estado límite de prevención del colapso, se obtiene aplicando la ecuación 4.5

$$\frac{V_O}{W_t} = \frac{a(T_a, \beta) * A_{cd}(T_e)}{Q'(T_e, Q) R(T_e, R_O) \rho} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

donde:

V_O = Fuerza cortante basal

$W_t = \text{Peso total de la estructura (110.581 ton)}$

$a\langle T_a, \beta \rangle = \text{Ordenada espectral máxima normalizada}$

$Q' = \text{Factor ductilidad (1.25)}$

$R = \text{Factor de Sobrerresistencia (2.5)}$

$\rho = \text{Factor de redundancia (1)}$

El valor de la ordenada espectral máxima normalizada $a\langle T_a, \beta \rangle$, que se modifica por los diversos factores que afectan al espectro, se puede sustituir por la ordenada espectral máxima reducida, la cual se obtiene del espectro de diseño sísmico modificado, el cual ya está afectado por los factores correspondientes, obteniendo dicho valor de las gráficas antes presentadas (figuras 5.17 y 5.18), el valor es obtenido en términos de la aceleración de la gravedad (m/s^2).

En la dirección de análisis X, el valor de la ordenada espectral queda de la siguiente forma:

$$a'\langle T_a, \beta \rangle = \text{Ordenada espectral máxima reducida } \left(\frac{8.369}{9.81} \right)$$

Resolviendo la ecuación 4.5, se obtiene la fuerza cortante estática en la base en las dos direcciones:

$$V_{ox} = 110.581 * \left(\frac{8.369}{9.81} \right) = 94.338 \text{ ton}$$

$$V_{oy} = 110.581 * \left(\frac{7.635}{9.81} \right) = 86.064 \text{ ton}$$

Una vez obtenidas las fuerzas cortantes estáticas y dinámicas basales en las dos direcciones de análisis, se verifica el cumplimiento de las siguientes condiciones:

$$\frac{S_{espX}}{S_x} > 0.70$$

$$\frac{S_{espY}}{S_y} > 0.70$$

Revisión en dirección X:

$$\frac{66.500 \text{ ton}}{94.338 \text{ ton}} = 0.705$$

Revisión en dirección Y:

$$\frac{58.729 \text{ ton}}{86.064 \text{ ton}} = 0.682$$

En la dirección de análisis X, se observa que se cumple con el criterio de que las fuerzas cortantes basales dinámicas sean al menos del 70% de las fuerzas cortantes basales estáticas, en la dirección de análisis Y, se observa un mínimo porcentaje por debajo del 70%, por lo que, considerando un factor de corrección mínimo, se acredita el cumplimiento de la condición.

5.7.3 Revisión de la fuerza cortante basal dinámica obtenida del modelo en RSAP, contra el cortante resistente en la base, en cada dirección.

A continuación, se compara las fuerzas cortantes basales dinámicas en dirección X y Y, obtenidas del modelo en Robot Structural Analysis Professional contra el cortante resistente en la base en cada dirección. Los valores obtenidos para las cortantes basales dinámicas son: 66.500 ton en dirección X y 58.729 ton en dirección Y. Como se observa en las figuras 5.19 y 5.20, respectivamente.

En la tabla 5.3, se puede observar el área efectiva total de muros en dirección X, y aplicando la ecuación 4.8, se tiene que la fuerza cortante Resistente (V_{Rx}) en dirección X, es de 20.95 ton. Al comparar V_{Rx} con la fuerza cortante basal dinámica obtenida del modelo en RSAP, $V_{mod\ x} = 66.500\ ton$, se puede observar que no se cumple la condición $V_{Rx} > V_{mod\ x}$. Esto indica que, si se quiere incrementar la seguridad de la estructura, es necesario realizar una propuesta de rehabilitación para incrementar la rigidez y resistencia de la estructura en dirección X.

En la tabla 5.4, se observa el área efectiva total de muros en dirección Y, y aplicando la ecuación 4.8, se obtiene que la fuerza cortante resistente (V_{Ry}) en dirección Y, es de 24.99 toneladas. Al comparar V_{Ry} con la fuerza cortante basal dinámica obtenida del modelo en RSAP, $V_{mod\ Y} = 58.729\ ton$, se observa que tampoco se cumple la condición $V_{Ry} > V_{mod\ Y}$ por lo cual se tiene que realizar una propuesta de rehabilitación integral, para incrementar también la resistencia y rigidez de la estructura en dirección Y.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Fuerza cortante obtenida del modelo RSAP. (Vmod) (Kg)	Vrm > Vmod
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	1586.34	3723.59	No cumple
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	1843.42	4482.57	No cumple
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	3874.12	4029.61	No cumple
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	1805.44	4120.49	No cumple
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	4988.89	14665.67	No cumple
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	3071.63	8940.18	No cumple
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	1876.92	1177.94	Cumple
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	1905.81	2306.81	No cumple
		ΣLx	842					Totales	18504.89	38091.14	20952.56		

Tabla 5.3 Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección X.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (cm) (H)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Fuerza cortante obtenida del modelo RSAP. (Vmod) (Kg)	Vrm>Vmod
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	10989.71	21574.01	No cumple
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	5800.55	9404.42	No cumple
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	8203.40	24564.78	No cumple
		ΣLy	1389					Totales	17262.84	61474.62	24993.66		

Tabla 5.4 Datos para cálculo de la cortante resistente en dirección Y.

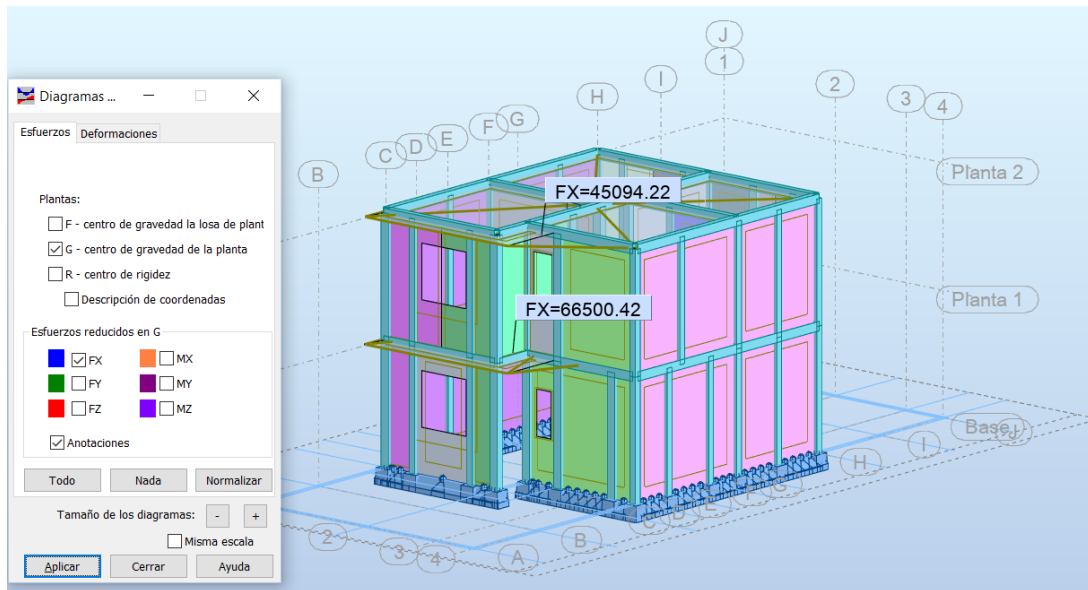


Figura 5.19 Cortante basal dinámico en dirección X.

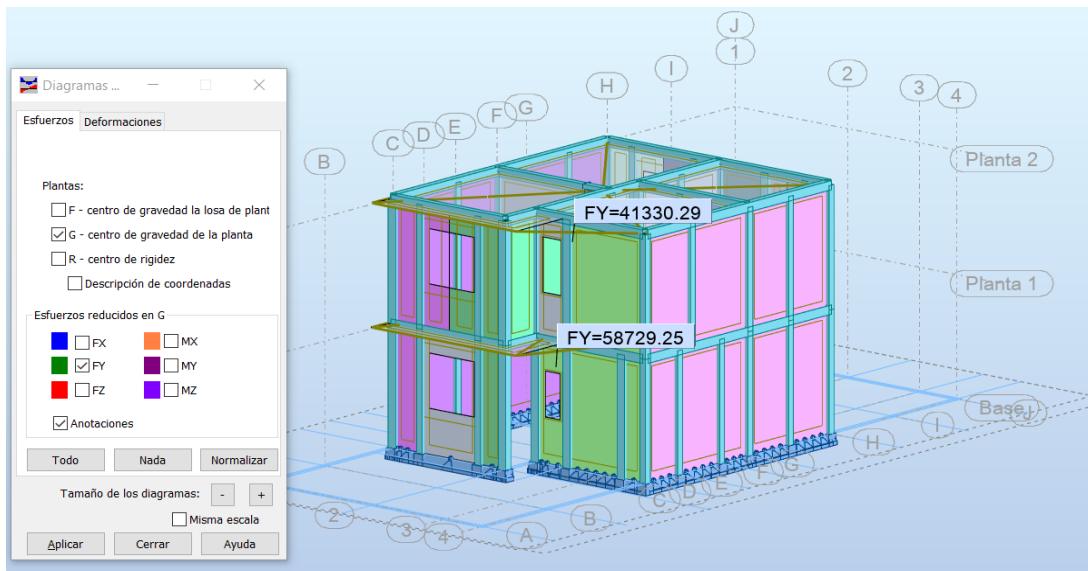


Figura 5.20 Cortante basal dinámico en dirección Y.

5.7.4 Revisión por fuerza cortante en muros.

Para la revisión por fuerzas cortantes en los muros de mampostería de la estructura en estudio, se obtuvieron, del modelo en RSAP, las fuerzas cortantes actuantes en cada uno de los muros asociadas a la combinación de cargas más desfavorable. En las figuras 5.21 y 5.22 se muestran las fuerzas cortantes de los muros de mampostería en dirección X y Y, respectivamente.

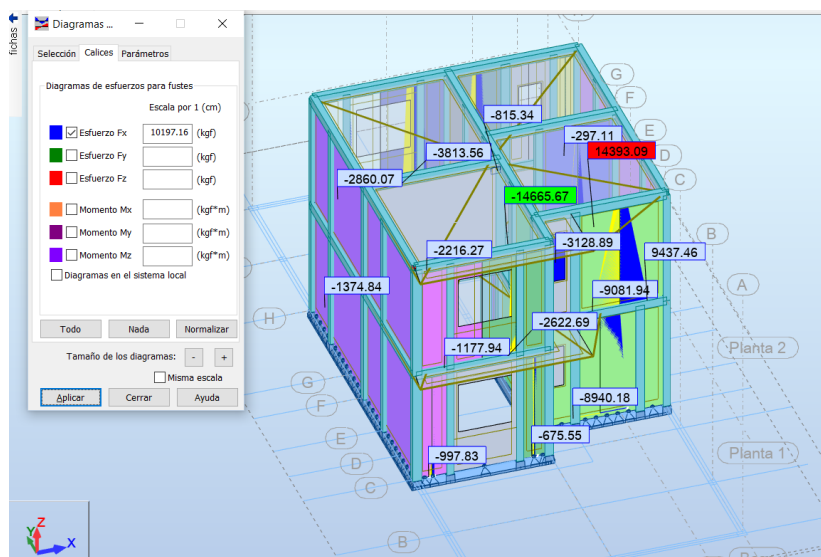


Figura 5.21 Fuerzas cortantes en muros de mampostería en dirección X.

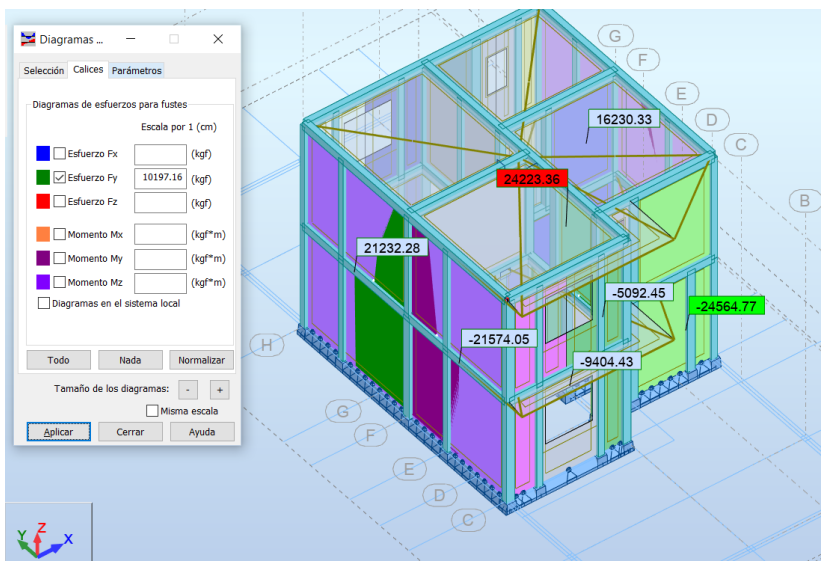


Figura 5.22 Fuerzas cortantes en muros de mampostería en dirección Y.

Las fuerzas cortantes actuantes en los muros de mampostería para la combinación más desfavorable obtenidas del análisis modal-espectral en RSAP (V_{mod}), se comparan con las cortantes resistentes de cada uno de los muros (V_r).

En la tabla 5.5, se observa la comparación de las fuerzas cortantes dinámicas actuantes con las fuerzas cortantes resistentes de cada muro.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Fuerza cortante obtenida del modelo RSAP. (Vmod) (Kg)	Vrm > Vmod
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	1586.34	3723.59	No cumple
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	1843.42	4482.57	No cumple
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	3874.12	4029.61	No cumple
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	1805.44	4120.49	No cumple
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	4988.89	14665.67	No cumple
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	3071.63	8940.18	No cumple
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	1876.92	1177.94	Cumple
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	1905.81	2306.81	No cumple
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	10989.71	21574.01	No cumple
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	5800.55	9404.42	No cumple
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	8203.40	24564.78	No cumple
12	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	1378.405	1253.38	2860.00	No cumple
13	A	1-3	208	270	15	1.30	0.983	3120	3066.05	3343.69	2848.41	7571.71	No cumple
14	A	2-3	65	270	15	4.15	1.500	975	1462.10	1277.325	1291.71	1892.01	No cumple
15	B	2-3	174	270	15	1.55	0.995	2610	2598.24	4306.32	2723.10	2852.69	No cumple

16	C	1-2	300	270	15	0.90	0.933	4500	4200.53	5666.5	4130.33	7570.79	No cumple
17	E	2-3	205	270	15	1.32	0.984	3075	3026.03	3915.025	2940.38	9081.00	No cumple
18	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2041.625	1377.52	1177.94	Cumple
19	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2104.125	1390.65	2622.69	No cumple
20	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	10045.24	7698.29	12600.40	No cumple
21	2	A-B	253	270	15	1.07	0.959	3795	3640.99	5254.915	3652.22	4587.34	No cumple
22	2	C-F	249	270	15	1.08	0.962	3735	3591.63	6041.695	3782.89	5092.45	No cumple
23	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	8312.515	6687.24	16092.72	No cumple

Tabla 5.5 Fuerzas cortantes actuantes en muros obtenidas de RSAP y fuerzas cortantes resistentes de muros.

Para garantizar la seguridad estructural de la vivienda, en cada uno de los muros se debe cumplir con la condición $V_{rm} > V_{mod}$.

En la tabla 5.5, se observa que ninguno de los muros cumple con la condición de fuerza cortante resistente mayor que la fuerza cortante actuante en cada muro por efectos dinámicos a excepción de los muros 7 y 18, por lo cual se ratifica que se debe realizar una propuesta de rehabilitación para corregir esta insuficiencia de resistencia en cada uno de muros de la vivienda, con el fin de garantizar seguridad estructural global.

CAPÍTULO 6.

PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

Con la propuesta de rehabilitación de la vivienda de mampostería confinada, se busca mejorar el comportamiento de la estructura original para brindarle seguridad estructural a sus habitantes, cuidando la relación costo-beneficio. En términos estructurales se busca incrementar su resistencia lateral local y global, pues como se presentó en secciones anteriores, la fuerza cortante actuante es mayor que la resistente en todos los muros para las dos direcciones de análisis, lo cual evidentemente indica que globalmente tiene serias deficiencias de concepción arquitectónica y estructural, con una densidad de muros muy baja.

Desde hace décadas, en la literatura especializada y la normatividad existente, existen recomendaciones para la elección y correcta aplicación de métodos de rehabilitación tradicionales para estructuras dañadas por sismo o que requieran una rehabilitación por diferentes motivos. En el presente capítulo se desarrolla una propuesta de rehabilitación para la vivienda en estudio para posteriormente analizar la relación costo-beneficio.

6.1 Procedimiento para la rehabilitación de muros de mampostería confinada adicionando malla electrosoldada cubierta con mortero.

Para iniciar con el proceso de rehabilitación de mampostería confinada, se debe inspeccionar los elementos a rehabilitar, en el caso de existir grietas estas deberán quedar libres de fragmentos o piezas sueltas, al igual que deben quedar libres de polvo el cual debe ser retirado bajo presión de agua. Para favorecer la adherencia del mortero al muro de mampostería, se debe retirar cualquier acabado que haya sido colocado sobre el muro previamente, como puede ser mortero, tirol, yeso, pintura, etc. (Ruiz et al., 1997)

Una vez que los muros estén libres de cualquier acabado, se debe verificar que quede una superficie limpia y con rugosidades, en caso de existir grietas estas deberán ser restauradas inyectando mortero de cemento, para fisuras (grietas de ancho menor a 0.5 mm) se restauran con una lechada de cemento (mezcla fluida de cemento y agua). Si existen piezas agrietadas en el muro, es recomendable sustituirlas por nuevas piezas.

En el caso de encontrar elementos de confinamiento como castillos y cadenas dañados, ya sea por desconchamiento del recubrimiento, plegamiento de las varillas longitudinales, etc., se debe realizar la reparación correspondiente a nivel local, ya sea sustituyendo el concreto fracturado por concreto nuevo y enderezar el plegamiento de las varillas, respectivamente (Ruiz et al., 1997).

Para el caso de interés de esta tesis, la malla electrosoldada debe colocarse de tal manera que se rodeen los bordes verticales de los muros y los bordes de las aberturas. Si la malla se coloca sobre una cara del muro, la porción de malla que rodea los bordes se debe extender por lo menos dos veces la separación entre alambres transversales, en la figura 6.1 se observa como la malla debe cubrir los bordes de las aberturas.

Los conectores que mantendrán fija la malla a la mampostería son clavos de concreto de 50 mm de largo, colocados a una separación no mayor a 450 mm entre cada conector, con su respectiva arandela la cual servirá para el proceso de anclaje. Es recomendable usar una densidad mínima de 9 anclajes/m² (NTC-DCEM, 2020).



Figura 6.1 Colocación de malla de refuerzo en muro de mampostería con aberturas (CENAPRED, 2013).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) indica que el mortero puede ser elaborado en proporción 1: ¼: 3.75 de cemento: cal: arena, respectivamente. La capa de mortero es recomendable elaborarla con un espesor de 2.5 cm, en la figura 6.2 se muestra el proceso de aplicación de la capa de mortero en un espécimen construido en laboratorio.



Figura 6.2 Colocación de la capa de mortero en muros de mampostería con refuerzo de malla (CENAPRED, 2013).

6.2 Refuerzo con malla electrosoldada cubierta con mortero aplicado al proyecto en estudio.

En la tabla 6.1, se observan los resultados de los cálculos de las fuerzas cortantes resistentes (V_{rm}) de cada uno de los muros de mampostería, calculados con la ecuación 4.8, descrita en el capítulo 4.

$$V_R = F_R(0.5V'_m A_T + 0.3W_t) \quad \text{Ecuación 4.8}$$

En la tabla 6.1 se muestran también los resultados de los esfuerzos cortantes actuantes en cada uno de los muros de mampostería provocados por efectos dinámicos (V_{uD}), obtenidos del análisis sísmico modal-espectral con RSAP.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Fuerza cortante obtenida del modelo RSAP. (Vmod) (Kg)	Vrm > Vmod
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	1586.34	3723.59	No cumple
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	1843.42	4482.57	No cumple
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	3874.12	4029.61	No cumple
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	1805.44	4120.49	No cumple
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	4988.89	14665.67	No cumple
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	3071.63	8940.18	No cumple
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	1876.92	1177.94	Cumple
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	1905.81	2306.81	No cumple
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	10989.71	21574.01	No cumple
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	5800.55	9404.42	No cumple
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	8203.40	24564.78	No cumple
12	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	1378.405	1253.38	2860.00	No cumple
13	A	1-3	208	270	15	1.30	0.983	3120	3066.05	3343.69	2848.41	7571.71	No cumple
14	A	2-3	65	270	15	4.15	1.500	975	1462.10	1277.325	1291.71	1892.01	No cumple
15	B	2-3	174	270	15	1.55	0.995	2610	2598.24	4306.32	2723.10	2852.69	No cumple
16	C	1-2	300	270	15	0.90	0.933	4500	4200.53	5666.5	4130.33	7570.79	No cumple
17	E	2-3	205	270	15	1.32	0.984	3075	3026.03	3915.025	2940.38	9081.00	No cumple
18	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2041.625	1377.52	1177.94	Cumple
19	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2104.125	1390.65	2622.69	No cumple

20	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	10045.24	7698.29	12600.40	No cumple
21	2	A-B	253	270	15	1.07	0.959	3795	3640.99	5254.915	3652.22	4587.34	No cumple
22	2	C-F	249	270	15	1.08	0.962	3735	3591.63	6041.695	3782.89	5092.45	No cumple
23	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	8312.515	6687.24	16092.72	No cumple

Tabla 6.1 Comparativa de fuerzas cortantes actuantes en cada muro provocadas por efectos dinámicos contra fuerzas cortantes resistentes de cada muro.

En la tabla 6.1, se observa claramente que la fuerza cortante resistente de cada muro de mampostería es insuficiente para resistir las fuerzas cortantes actuantes provocadas por efectos sísmicos.

Por lo anterior, es evidente que se requiere diseñar un esquema de refuerzo estructural. Una opción viable radica en el empleo de acero de refuerzo para resistir las fuerzas cortantes que no son capaces de resistir los muros de mampostería. Para este fin se emplea el encamisado de muros, considerando la adición de malla electrosoldada y repello con mortero.

En la figura 6.3, y 6.4 se detallan los muros de mampostería de la vivienda en estudio que serán encamisados de acuerdo a las condiciones de la vivienda en estudio, ya que los muros en dirección X es posible encamisarlos por ambas caras y los muros en dirección Y, son muros de colindancia los cuales serán encamisados solamente en una cara.

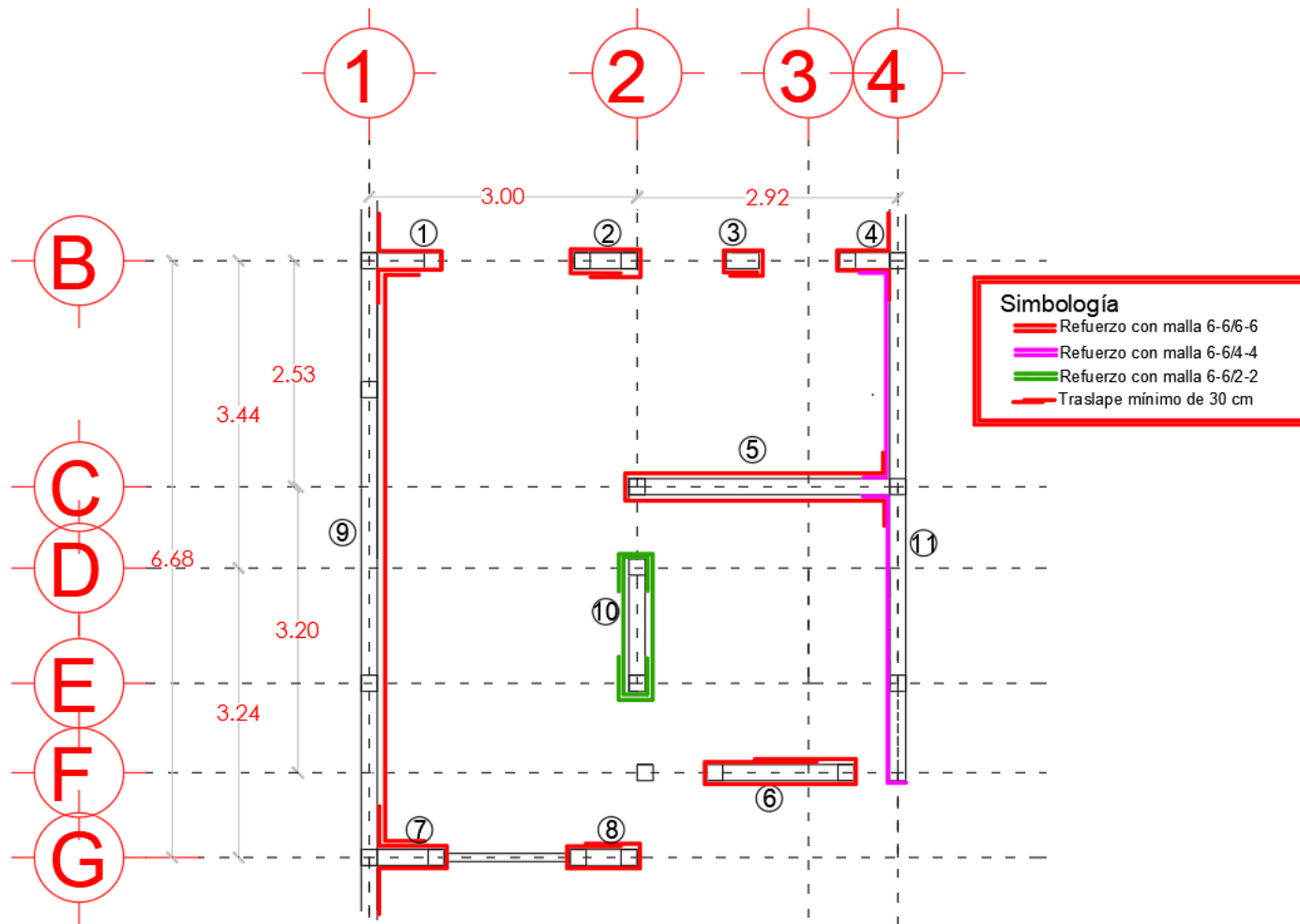


Figura 6.3 Propuesta de encamisado de muros de mampostería con malla electrosoldada y mortero en planta baja.

En las figuras 6.3 y 6.4, también se observa que el traslape mínimo del refuerzo de acero será de 30 cm, ya que las normas de referencia (NTC-DCEM, 2020) indican que es el traslape mínimo del acero, así como la longitud de acero que rodean a los bordes de los muros, será mínimamente dos veces la separación entre alambres de la malla, correspondiendo esto a una longitud de 30 cm.

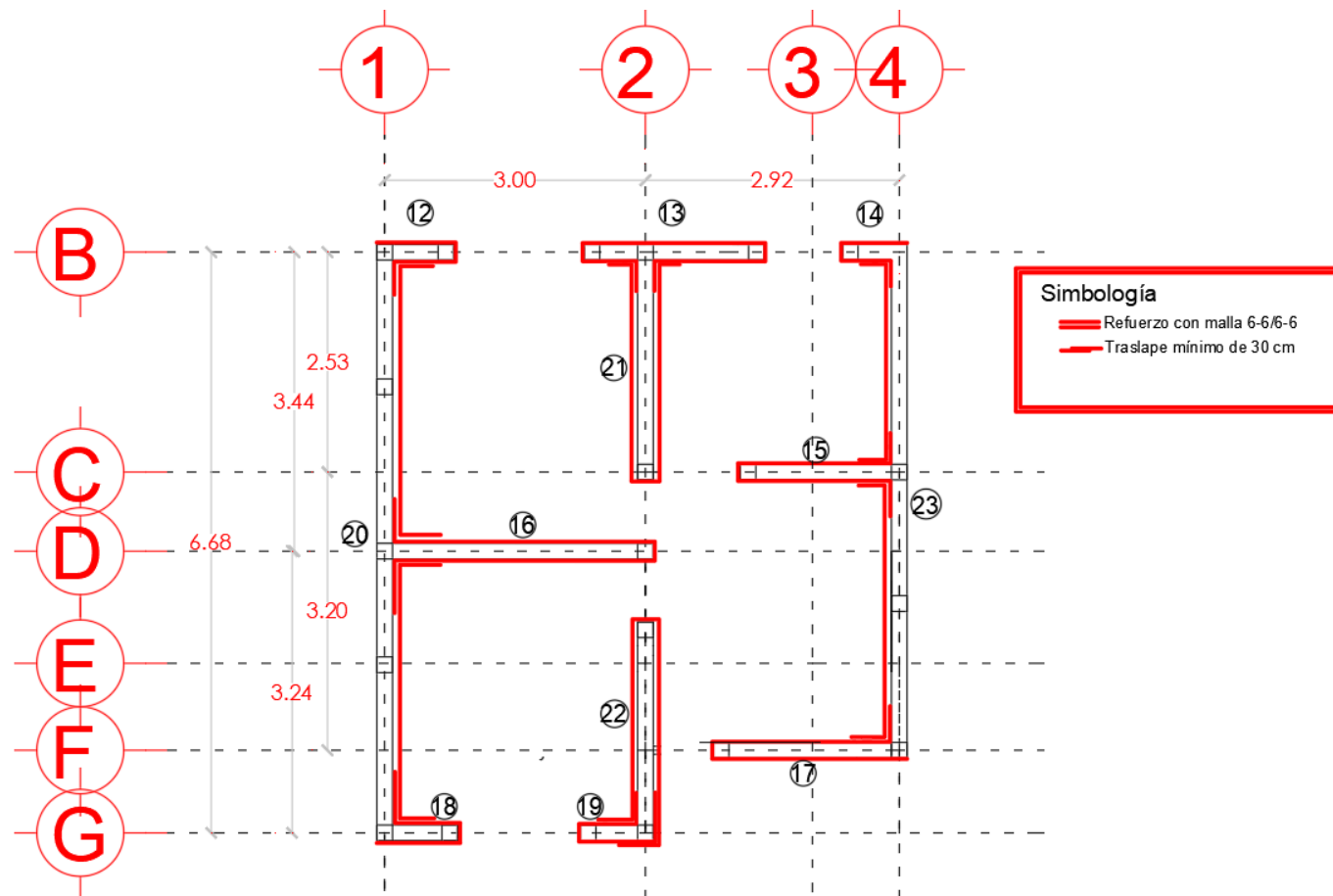


Figura 6.4 Propuesta de encamisado de muros de mampostería con malla electrosoldada y mortero en planta alta.

En las figuras 6.5 y 6.6, se presenta un modelo arquitectónico 3D de la vivienda en estudio. En la figura 6.5 se indica que los muros de mampostería deben estar libres de impurezas, así como de aplanados previos. En la figura 6.6, se observa la serie de pasos a seguir para el correcto proceso de encamisado de los muros de mampostería a rehabilitar.

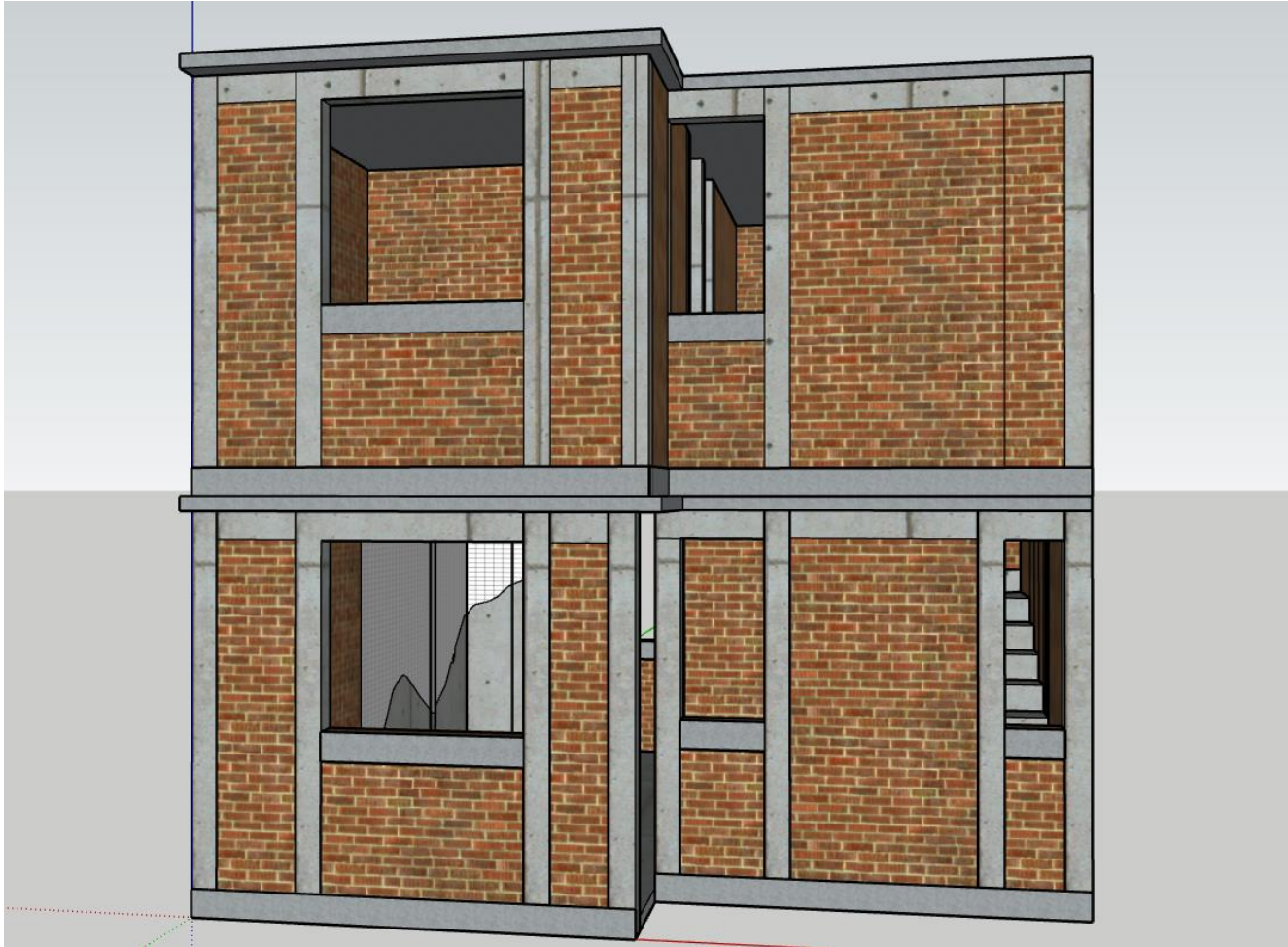


Figura 6.5 Vista frontal del modelo 3D de la vivienda en estudio, sin aplanados existentes.

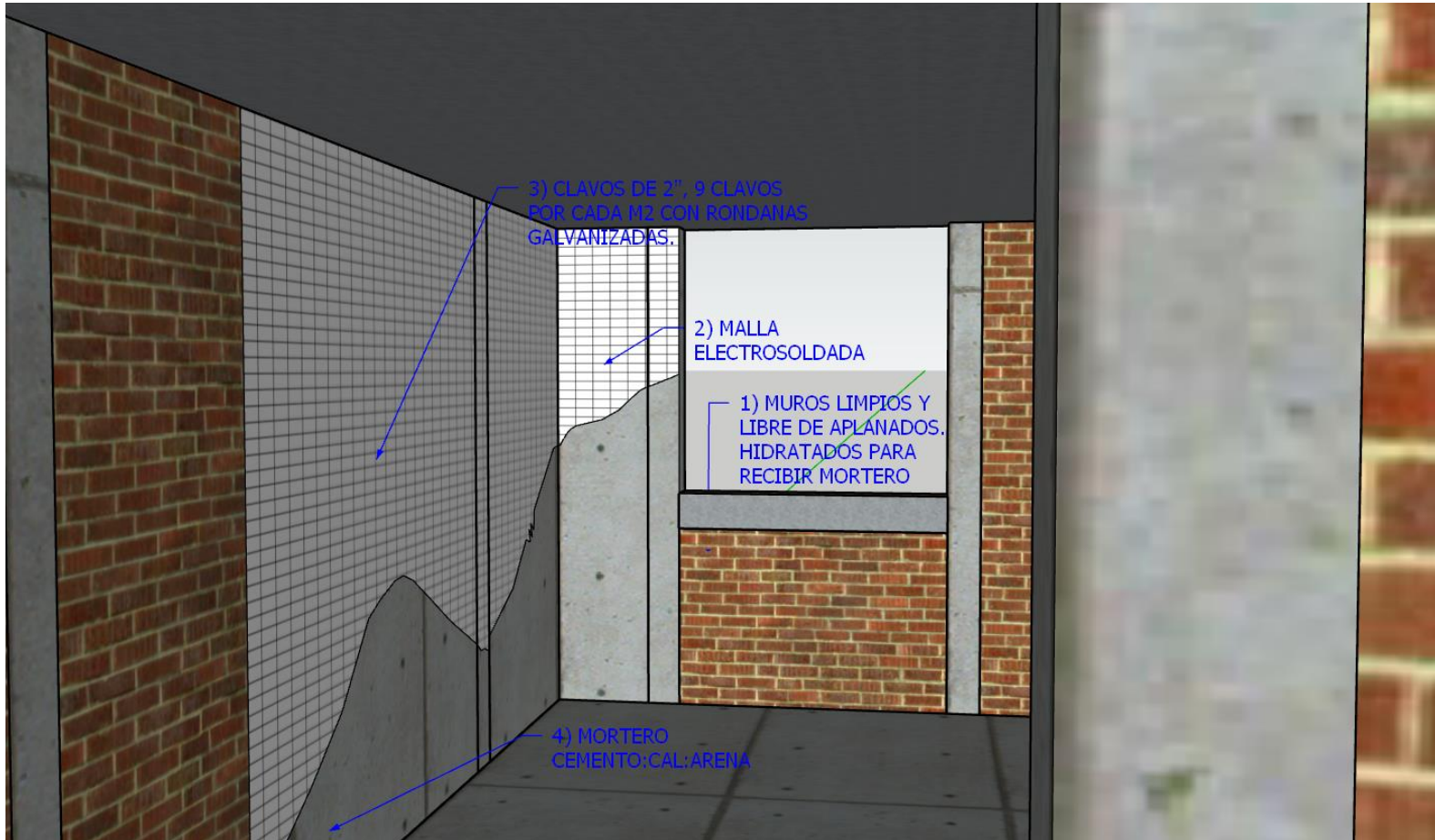


Figura 6.6 Pasos del proceso de encamisado de muros de mampostería.

En las figuras 6.3 y 6.4, se observa la propuesta de encamisado de muros con malla electrosoldada en planta baja y planta alta de la vivienda en estudio, dado que los muros en dirección X tienen áreas de sección transversal pequeñas se ha propuesto encamisarlos en ambas caras ya que la estructura lo permite; sin embargo, en dirección Y, en la mayoría de los muros solo es posible encamisarlos en una de sus caras (figura 6.3).

Para poder determinar la fuerza cortante que resiste la malla de alambre electrosoldada recubierta de mortero, se requiere determinar el tipo de malla a utilizar. En la figura 6.7 se muestran los diferentes tipos de variantes en las que se puede adquirir la malla electrosoldada, siendo los primeros dos números de cada tipo, la separación en pulgadas de cada alambre, y los segundos dos números el calibre de cada alambre.

Dimensiones y pesos teóricos malla electrosoldada				
Tipo	Diámetro			Peso
	Calibre	Pulg.	mm	kg / m ²
6x6 / 2-2	2	0.2626	6.670	3.64
6x6 / 4-4	4	0.2250	5.715	2.72
6x6 / 6-6	6	0.1920	4.877	1.98
6x6 / 8-8	8	0.1644	4.176	1.40
6x6 / 10-10	10	0.1350	3.429	0.97
1010 / 10-10	10	0.1350	3.429	0.68

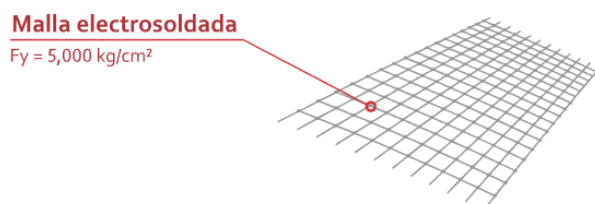


Figura 6.7 Dimensiones y pesos teóricos de mallas electrosoldadas (MIPSA, 2023).

Se seleccionan los tipos de malla más comerciales, que cumplan con los criterios de cuantía de acero máximos y mínimos, establecidos por las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM, 2020). Para esta propuesta de rehabilitación se seleccionaron los tipos 6x6/6-6, 6x6/4-4 y 6x6/2-2. Como se dijo, el 6x6 indica el tamaño, en pulgadas, del cuadro que forma la malla, y los siguientes dos números el calibre de los alambres que lo conforman.

La normatividad vigente, establece que el esfuerzo de fluencia para diseño F_{yh} , no debe ser mayor que $5000 \frac{kg}{cm^2}$. En la figura 6.7 se observa que la malla electrosoldada cumple con dicho criterio.

Para el cálculo de la cuantía de acero máxima y mínima del acero de refuerzo, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería (NTC-DCEM, 2020), indican lo siguiente:

- Cuantía de acero mínima

Cuando se coloque acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de refuerzo horizontal ρ_h , no será inferior al resultado de la aplicación de la ecuación 6.1.

$$\rho_{hmin} = \frac{3}{f_{yh}} \quad \text{para } f_{yh} : \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{Ecuación 6.1}$$

donde:

$$F_{yh} = 5000 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo tanto:

$$\rho_{hmin} = \frac{3}{5000} = 0.0006 = 0.06\%$$

- Cuantía de acero máxima

Cuando se coloque acero de refuerzo horizontal para resistir fuerza cortante, la cuantía de refuerzo horizontal ρ_h , no será mayor al resultado de la aplicación de la ecuación 6.2.

$$\rho_{hmax} = \frac{9}{f_{yh}} \quad \text{para } f_{yh} : \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Por lo tanto:

$$\rho_{hmax} = \frac{9}{5000} = 0.0018 = 0.18\%$$

Para el cálculo de la cuantía de acero para cada una de las mallas empleadas se emplea la ecuación 6.3

$$\rho_h = \frac{A_{sh}}{S_h * t} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

La cuantía de acero para la malla 6x6/6-6, utilizada para la rehabilitación de los muros de mampostería es la siguiente:

Diámetro del alambre: 0.4877 cm

Área de sección transversal del alambre (A_{sh}): 0.1868 cm²

Separación horizontal (S_h): 15 cm

Espesor de muro (t): 15 cm

Cuantía de acero:

$$\rho_{h1} = \frac{A_{sh}}{S_h * t} = 0.083\%$$

Para malla 6x6/4-4 se tiene lo siguiente:

Diámetro del alambre: 0.5715 cm

Área de sección transversal del alambre: 0.2565 cm²

Separación horizontal (S_h): 15 cm

Espesor de muro (t): 15 cm

Cuantía de acero:

$$\rho_{h2} = \frac{A_{sh}}{S_h * t} = 0.1140\%$$

Así también, para la malla 6x6/2-2 se tiene lo siguiente:

Diámetro del alambre: 0.6670 cm

Área de sección transversal del alambre: 0.3494 cm²

Separación horizontal (S_h): 15 cm

Espesor de muro (t): 15 cm

Cuantía de acero:

$$\rho_{h3} = \frac{A_{sh}}{S_h * t} = 0.1553\%$$

Finalmente, al sustituir los valores en la ecuación 6.3 se puede observar que, en todos los casos, la cuantía de acero obtenida se encuentra dentro de los límites permisibles.

Una vez verificado el cumplimiento de los límites permisibles de la cuantía de acero, se procede a calcular la fuerza cortante resistida por el acero de refuerzo de la malla de alambre electrosoldada recubierta de mortero, aplicando la ecuación 6.4.

$$V_{SR} = F_R \eta \rho_h f_{yh} A_T$$

Ecuación 6.4.

Donde:

F_R = Factor de resistencia (0.70)

$$f_{yh} = 5000 \frac{kg}{cm^2}$$

A_T = Área de la sección transversal del muro

η = Factor de eficiencia del refuerzo de horizontal

$$\eta = \begin{cases} 0.6; & \text{si } \rho_h f_{yh} \leq 6 \frac{kg}{cm^2} \\ 0.2; & \text{si } \rho_h f_{yh} \geq 9 \frac{kg}{cm^2} \end{cases}$$

Para el caso de las cuantías de acero calculadas, $\rho_{h1} = 0.083\%$, $\rho_{h2} = 0.1140\%$ y $\rho_{h3} = 0.1553\%$, se obtiene $\rho_{h1} f_{yh} = 4.15 \frac{kg}{cm^2}$, $\rho_{h2} f_{yh} = 5.7 \frac{kg}{cm^2}$ y $\rho_{h3} f_{yh} = 7.76 \frac{kg}{cm^2}$, por lo que para los casos de las mallas 6x6/6-6 y 6x6/4-4 les corresponde un $\eta = 0.6$ y para la malla 6x6/2-2 le corresponde un $\eta = 0.4$.

En la tabla 6.2, se pueden observar las fuerzas cortantes resistentes de cada uno de los muros rehabilitados, producto de la sumatoria de las fuerzas cortantes resistentes de cada muro de mampostería (V_{rm}) más la fuerza cortante resistida por la malla de alambre de acero electrosoldada (V_{sR}).

En la tabla 6.3 se realiza la comparación de las fuerzas cortantes actuantes en cada uno de los muros, provocadas por efectos dinámicos (V_{mod}) analizados con RSAP mediante el análisis modal espectral, y la fuerza cortante resistente de los muros rehabilitados ($V_{rm} + V_{sR}$). El criterio de aceptación es: $V_{rm} + V_{sR} > V_{mod}$.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	H/L	FAEi	Área de la sección transversal de muro. (Ati) (cm²)	Área efectiva de muros (FAEi*Ati)	Carga ultima por muro (Pum) (Kg)	Fuerza cortante resistente por Muro (Vrm) (Kg)	Cuantía de Acero (Ph)	Recubrimiento (1 o 2 caras del muro)	Fuerza cortante resistida por el acero (VSR)	Fuerza cortante resistente del muro rehabilitado (Vrm + VSR)
1	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	2963.94	1586.34	0.0830%	2	3713.74	5300.08
2	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	4188.12	1843.42	0.0830%	2	3713.74	5557.16
3	A	2-3	37	270	15	7.30	8.432	555	4680.02	2848.14	3874.12	0.0830%	2	1935.33	5809.45
4	A	2-3	56	270	15	4.82	2.123	840	1783.31	2652.95	1805.44	0.0830%	2	2929.15	4734.59
5	B	2-3	292	270	15	0.92	0.938	4380	4107.68	10064.35	4988.89	0.0830%	2	15273.42	20262.31
6	E	2-3	165	270	15	1.64	0.998	2475	2469.05	6396.64	3071.63	0.0830%	2	8630.53	11702.16
7	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4419.72	1876.92	0.0830%	2	3922.97	5799.89
8	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	4557.28	1905.81	0.0830%	2	3922.97	5828.78
9	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	25718.64	10989.71	0.0830%	1	17470.28	28459.99
10	2	C-D	148	270	15	1.82	1.000	2220	2219.40	20223.66	5800.55	0.1553%	2	14479.76	20280.30
11	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	15532.32	8203.40	0.1140%	1	20578.09	28781.49
12	A	1-2	71	270	15	3.80	1.293	1065	1377.01	1378.405	1253.38	0.0830%	2	3713.74	4967.12
13	A	1-3	208	270	15	1.30	0.983	3120	3066.05	3343.69	2848.41	0.0830%	2	10879.70	13728.11
14	A	2-3	65	270	15	4.15	1.500	975	1462.10	1277.325	1291.71	0.0830%	2	3399.90	4691.61
15	B	2-3	174	270	15	1.55	0.995	2610	2598.24	4306.32	2723.10	0.0830%	2	9101.28	11824.38
16	C	1-2	300	270	15	0.90	0.933	4500	4200.53	5666.5	4130.33	0.0830%	2	15691.87	19822.20
17	E	2-3	205	270	15	1.32	0.984	3075	3026.03	3915.025	2940.38	0.0830%	2	10722.78	13663.15
18	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2041.625	1377.52	0.0830%	2	3922.97	5300.49
19	F	1-2	75	270	15	3.60	1.205	1125	1355.40	2104.125	1390.65	0.0830%	2	3922.97	5313.61
20	1	A-F	668	270	15	0.40	0.797	10020	7983.99	10045.24	7698.29	0.0830%	1	17470.28	25168.57
21	2	A-B	253	270	15	1.07	0.959	3795	3640.99	5254.915	3652.22	0.0830%	2	13233.48	16885.70
22	2	C-F	249	270	15	1.08	0.962	3735	3591.63	6041.695	3782.89	0.0830%	2	13024.25	16807.15
23	3	A-E	573	270	15	0.47	0.821	8595	7059.45	8312.515	6687.24	0.0830%	1	14985.74	21672.98

Tabla 6.2 Fuerzas cortantes resistentes de cada uno de los muros rehabilitados.

Muro	Eje	Tramo	Longitud (cm)	Altura de entrepiso (H) (cm)	Espesor de Muro (cm)	Fuerza cortante resistente por Muro (V_{rm}) (Kg)	Fuerza cortante obtenida del modelo RSAP. (V_{mod}) (Kg)	Fuerza cortante resistida por el acero (V_{SR})	Fuerza cortante resistente del muro rehabilitado ($V_{rm} + V_{SR}$)	($V_{rm} + V_{SR}$) > V_{mod}
1	A	1-2	71	270	15	1586.34	3723.59	3713.74	5300.08	Cumple
2	A	1-2	71	270	15	1843.42	4482.57	3713.74	5557.16	Cumple
3	A	2-3	37	270	15	3874.12	4029.61	1935.33	5809.45	Cumple
4	A	2-3	56	270	15	1805.44	4120.49	2929.15	4734.59	Cumple
5	B	2-3	292	270	15	4988.89	14665.67	15273.42	20262.31	Cumple
6	E	2-3	165	270	15	3071.63	8940.18	8630.53	11702.16	Cumple
7	F	1-2	75	270	15	1876.92	1177.94	3922.97	5799.89	Cumple
8	F	1-2	75	270	15	1905.81	2306.81	3922.97	5828.78	Cumple
9	1	A-F	668	270	15	10989.71	21574.01	17470.28	28459.99	Cumple
10	2	C-D	148	270	15	5800.55	9404.42	14479.76	20280.30	Cumple
11	3	A-E	573	270	15	8203.40	24564.78	20578.09	28781.49	Cumple
12	A	1-2	71	270	15	1253.38	2860.00	3713.74	4967.12	Cumple
13	A	1-3	208	270	15	2848.41	7571.71	10879.70	13728.11	Cumple
14	A	2-3	65	270	15	1291.71	1892.01	3399.90	4691.61	Cumple
15	B	2-3	174	270	15	2723.10	2852.69	9101.28	11824.38	Cumple
16	C	1-2	300	270	15	4130.33	7570.79	15691.87	19822.20	Cumple
17	E	2-3	205	270	15	2940.38	9081.00	10722.78	13663.15	Cumple
18	F	1-2	75	270	15	1377.52	1177.94	3922.97	5300.49	Cumple
19	F	1-2	75	270	15	1390.65	2622.69	3922.97	5313.61	Cumple
20	1	A-F	668	270	15	7698.29	12600.40	17470.28	25168.57	Cumple
21	2	A-B	253	270	15	3652.22	4587.34	13233.48	16885.70	Cumple
22	2	C-F	249	270	15	3782.89	5092.45	13024.25	16807.15	Cumple
23	3	A-E	573	270	15	6687.24	16092.72	14985.74	21672.98	Cumple

Tabla 6.3 Comparativa de la fuerza cortante resistente de los muros de mampostería rehabilitados con malla de alambre de acero electrosoldada frente a las fuerzas cortantes actuantes por efectos estáticos y dinámicos.

En la tabla 6.3 se observa que la fuerza cortante que resisten los muros de mampostería rehabilitados con malla de alambre de acero electrosoldada recubiertos con mortero es suficiente para resistir las fuerzas cortantes actuantes en los muros. En todos los muros se cumple con la condición $(V_{rm} + V_{SR}) > V_{mod}$.

Por lo antes mencionado, se concluye que la rehabilitación de muros con malla electrosoldada recubiertos de mortero, es una técnica de rehabilitación adecuada para brindar seguridad estructural a la vivienda de mampostería en estudio.

En el capítulo siguiente se comenta lo relacionado a los aspectos económicos derivados de realizar la rehabilitación de la vivienda por medio de la aplicación del encamisado en muros con malla electrosoldada y mortero. Dentro de los aspectos relevantes a comentar están: los costos de materiales, mano de obra, maquinaria y equipo, ya que en muchos casos los procedimientos de rehabilitación no se llevan a cabo, por la idea de costos excesivos, procesos constructivos invasivos, y desconocimiento técnico. Evidentemente, no realizar una rehabilitación implica un riesgo para las personas que habitan en estas viviendas que son propensas a sufrir daños o que ya han sufrido daños estructurales generados por sismos.

CAPÍTULO 7.

PRESUPUESTO DEL PROYECTO DE REHABILITACIÓN.

El presupuesto de obra se elabora para que el cliente (dueño del proyecto), tenga el conocimiento de cuánto costará la construcción de su proyecto ejecutivo integral y con base en dicho presupuesto se proceda a la toma de decisiones respecto a parámetros de calidad, confort, etc.

Como se detalló en varias secciones precedentes, la rehabilitación de la casa habitación se plantea con un sistema estructural basado en el encamisado de los muros de mampostería mediante malla de alambre de acero electrosoldada recubierta de mortero de cemento-cal-arena. El propósito del análisis económico es brindar elementos que ayuden a la toma de decisiones al momento de elegir un sistema de rehabilitación, ya que actualmente se carece de información que ayude a discretizar al momento de tomar una decisión sobre un proceso constructivo para rehabilitación de estructuras.

7.1 Catálogo de conceptos para el proyecto de rehabilitación.

En la tabla 7.1, se observa el listado de conceptos de obra necesarios para llevar a cabo el proyecto de rehabilitación. Un concepto de obra es la descripción detallada de cada una de las actividades que se realizarán para poder llevar a buen término el proyecto de obra. Cada concepto de obra debe de dar respuesta a tres preguntas esenciales:

1. ¿Qué se va a hacer?
2. ¿Cómo se va a hacer?
3. ¿Quién o con que se va a hacer?

Los conceptos de obra propuestos, son los necesarios para el proceso de preparación de los muros para recibir la malla de acero y el mortero.

Los valores de la columna de **cantidades** que aparece en el catálogo de conceptos son producto de un proceso de cuantificación de volúmenes de obra, dicho proceso se realiza con la ayuda de los formatos de números generadores, los cuales ubican, organizan y detallan cada uno de los elementos del proyecto a cuantificar.

CATALOGO DE CONCEPTOS			
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD
DESM-01	Desmontaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PZA	15.00
DEM-01	Demolición a mano de aplanados de mezcla de 2.5 cms de espesor hasta 3.50 mts de altura. Incluye: material, mano de obra, herramienta, acarreo a 1ra. estación, apile de material.	M ²	210.92
ACA-01	Acarreo de material producto de la demolición, carga manual hasta 1km de distancia. Incluye: Mano de obra, herramienta, equipo de seguridad y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M ³	8.23
APLA-MALLA66	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/6-6. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	M ²	187.46
APLA-MALLA44	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/4-4. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	M ²	15.47
APLA-MALLA22	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/2-2. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	M ²	7.99
MONT-01	Montaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PZA	15.00

Tabla 7.1 Catálogo de conceptos del proyecto de rehabilitación

7.2 Formatos generadores para el proyecto de rehabilitación.

A continuación, se presentan los números generadores del proyecto de rehabilitación de la vivienda en estudio, el objetivo de estos formatos es obtener una serie de documentos que demuestren y justifiquen las cantidades del catálogo de conceptos.

Los números generadores presentan la información detallada del elemento cuantificado, como son: descripción y clave, la ubicación del elemento (ejes, tramos, nivel), dimensiones, unidad, número de piezas, desglose de medidas y operaciones que justifiquen y demuestren las cantidades calculadas.

A continuación, se presentan los formatos de números generadores de cada uno de los conceptos de obra que integran el proyecto de rehabilitación de vivienda. En las tablas 7.2 a 7.8, se muestran los formatos de generadores realizados, basados en la propuesta de rehabilitación en el capítulo anterior de esta tesis (figuras 6.3 y 6.4).

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
DESM-01	Desmontaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PLANTA BAJA		PUERTAS	VENTANAS						
		B	1-4	1	2				15	PZAS	
		F	2-4		2						
		G	1-2		1						
		2	B-G	2							

		PLANTA ALTA									
		B	1-4		2						
		C	2-4	1							
		F	2-4		1						
		G	1-2		1						
		2	C-E	2							
			TOTAL	6	9						

Tabla 7.2 Formato de números generadores para el concepto de desmontaje de puertas y ventanas.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
DEM-01	Demolición a mano de aplanados de mezcla de 2.5 cms de espesor hasta 3.50 mts de altura. Incluye: material, mano de obra, herramienta, acarreos a 1ra. estación, apile de material.	PLANTA BAJA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M ²	
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M ²	
		A	2-3	0.37		2.7	0.999	2	1.998	M ²	
		A	2-3	0.56		2.7	1.512	2	3.024	M ²	
		B	2-3	2.92		2.7	7.884	2	15.768	M ²	
		E	2-3	1.65		2.7	4.455	2	8.91	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M ²	
		2	C-D	1.48		2.7	3.996	2	7.992	M ²	
		4	B-F	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M ²	
								TOTAL PB	86.967	M ²	

		PLANTA ALTA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M ²	
		A	1-3	2.08		2.7	5.616	2	11.232	M ²	
		A	2-3	0.65		2.7	1.755	2	3.51	M ²	
		B	2-3	1.74		2.7	4.698	2	9.396	M ²	
		C	1-2	3		2.7	8.1	2	16.2	M ²	
		E	2-3	2.05		2.7	5.535	2	11.07	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M ²	
		2	A-B	2.53		2.7	6.831	2	13.662	M ²	
		2	C-F	2.49		2.7	6.723	2	13.446	M ²	
		3	A-E	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M ²	
								TOTAL PA	123.957	M ²	
							TOTAL DE DEMOLICIÓN		210.924	M ²	

Tabla 7.3 Formato de números generadores para el concepto de demolición de aplanados existentes.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
ACA-01	Acarreo de material producto de la demolición, carga manual hasta 1km de distancia. Incluye: Mano de obra, herramienta, equipo de seguridad y todo lo necesario para su correcta ejecución.	PLANTA BAJA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	2-3	0.37		2.7	0.999	2	1.998	M²	
		A	2-3	0.56		2.7	1.512	2	3.024	M²	
		B	2-3	2.92		2.7	7.884	2	15.768	M²	
		E	2-3	1.65		2.7	4.455	2	8.91	M²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M²	
		2	C-D	1.48		2.7	3.996	2	7.992	M²	
		4	B-F	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M²	
								TOTAL PB	86.967	M²	
		PLANTA ALTA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	1-3	2.08		2.7	5.616	2	11.232	M²	
		A	2-3	0.65		2.7	1.755	2	3.51	M²	

		B	2-3	1.74		2.7	4.698	2	9.396	M ²	
		C	1-2	3		2.7	8.1	2	16.2	M ²	
		E	2-3	2.05		2.7	5.535	2	11.07	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M ²	
		2	A-B	2.53		2.7	6.831	2	13.662	M ²	
		2	C-F	2.49		2.7	6.723	2	13.446	M ²	
		3	A-E	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M ²	
								TOTAL PA	123.957	M ²	
							TOTAL DE DEMOLICIÓN		210.924	M ²	
						ESPESOR PROMEDIO DE CAPA A DEMOLER			0.03	M ²	
						VOLUMEN TOTAL DE DEMOLICION			6.328	M ³	
						FACTOR DE ABUNDAMIENTO			30%		
						VOLUMEN DE ACARREO TOTAL			8.226	M ³	

Tabla 7.4 Formato de números generadores para el concepto de acarreo de material producto de la demolición.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
APLA-MALLA66	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/6-6. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	PLANTA BAJA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	2-3	0.37		2.7	0.999	2	1.998	M²	
		A	2-3	0.56		2.7	1.512	2	3.024	M²	
		B	2-3	2.92		2.7	7.884	2	15.768	M²	
		E	2-3	1.65		2.7	4.455	2	8.91	M²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M²	
								TOTAL PB	63.504	M²	
		PLANTA ALTA									
		A	1-2	0.71		2.7	1.917	2	3.834	M²	
		A	1-3	2.08		2.7	5.616	2	11.232	M²	
		A	2-3	0.65		2.7	1.755	2	3.51	M²	
		B	2-3	1.74		2.7	4.698	2	9.396	M²	
		C	1-2	3		2.7	8.1	2	16.2	M²	

		E	2-3	2.05		2.7	5.535	2	11.07	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		F	1-2	0.75		2.7	2.025	2	4.05	M ²	
		1	A-F	6.68		2.7	18.036	1	18.036	M ²	
		2	A-B	2.53		2.7	6.831	2	13.662	M ²	
		2	C-F	2.49		2.7	6.723	2	13.446	M ²	
		4	B-F	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M ²	
								TOTAL PA	123.957	M ²	
							TOTAL APLANADO 66-66		187.461	M ²	

Tabla 7.5 Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/6-6.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
APLA-MALLA44	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal-arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/4-4. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	4	B-F	5.73		2.7	15.471	1	15.471	M ²	
							TOTAL APLANADO 66-44		15.471	M ²	

Tabla 7.6 Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/4-4.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
APLA-MALLA22	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/2-2. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.										
		2	C-D	1.48		2.7	3.996	2	7.992	M ²	
							TOTAL APLANADO 66-22		7.992	M ²	

Tabla 7.7 Formato de números generadores para el concepto de aplanado con mortero y refuerzo con malla 6x6"/2-2.

CLAVE	CONCEPTO	LOCALIZACIÓN		LARGO	ANCHO	ALTO	ÁREA O	PZA	TOTAL	UNIDAD	CROQUIS OBS.
		EJE	TRAMO				VOLUMEN				
	TRABAJOS DE REHABILITACIÓN										
MONT-01	Montaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PLANTA BAJA		PUERTAS	VENTANAS						
		B	1-4	1	2				15	PZAS	
		F	2-4		2						
		G	1-2		1						
		2	B-G	2							
		PLANTA ALTA									
		B	1-4		2						
		C	2-4	1							
		F	2-4		1						
		G	1-2		1						
		2	C-E	2							
			TOTAL	6	9						

Tabla 7.8 Formato de números generadores para el concepto montaje de puertas y ventanas.

7.3 Costo directo

El costo directo en cualquier presupuesto de obra, se compone de una serie de elementos que intervienen directamente en la ejecución de los conceptos de obra. Estos son, materiales, mano de obra, maquinaria, herramienta menor y equipo de seguridad (Baldovinos, 2013).

7.3.1 Materiales

A continuación, se presenta la serie de precios cotizados y vigentes al año 2024, con los cuales se integran en el presupuesto de la propuesta de rehabilitación de la casa habitación en estudio.

Al tener integrado el catálogo de conceptos, es posible establecer el listado de materiales (tabla 7.9) requerido para llevar a cabo el proceso constructivo de cada concepto de trabajo. En cada proyecto se requiere revisar los precios vigentes en el mercado y seleccionar los que favorezcan la economía del cliente, cuidando el cumplimiento de las especificaciones de calidad del proyecto.

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO SIN IVA
Grava 3-4	Grava 3/4"	M ³	\$300.00
Are-m3	Arena	M ³	\$250.00
Cem-Gris	Cemento tolteca gris	Ton	\$4,600.00
Ag- Pipa	Agua en pipa	M ³	\$100.00
Cal	Calhidra	Ton	\$3,200.00
Malla 66/10-10	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 10-10	M ²	\$17.88
Malla 66/6-6	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 6-6	M ²	\$39.75
Malla 66/4-4	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 4-4	M ²	\$55.23
Malla 66/2-2	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 2-2	M ²	\$72.20
Clavo-2.5	Clavo de 2 1/2" (63 mm) con cabeza, calibre 11.	Kg	\$36.00
Madera-3era	Madera de pino de 3a de 3/4" (19mm) x 12" (30 cm) x 8-1/4' (2.50m)	Pt	\$21.20

Tabla 7.9 Listado de precios de materiales sin IVA.

Para el caso de materiales compuestos (materiales que se componen de varios materiales), se elabora un básico, esta tabla detalla las cantidades de cada uno de los materiales que componen el material requerido, con la finalidad de obtener su precio unitario. Para el caso del mortero cemento: cal: arena en proporción 1: ¼: 3.75, como indica la CENAPRED para el encamisado de muros con refuerzo de acero, se obtiene un precio por m³ de \$2,272.60, como se detalla en la tabla 7.10.

Mortero 1:1/4:3.75	Mortero Cemento- Cal- Arena 1: 1/4 : 3.75			Unidad	M³
Clave	Descripción completa	Unidad	Costo	Cantidad	Importe
Are-m3	Arena	M3	\$ 250.00	1.160	\$ 290.00
Cal	Calhidra	Ton	\$ 3,200.00	0.091	\$ 291.20
Cem-Gris	Cemento portland Gris	Ton	\$ 4,600.00	0.364	\$ 1,674.40
Ag- Pipa	Agua en pipa	M3	\$ 100.00	0.170	\$ 17.00
TOTAL					\$ 2,272.60

Tabla 7.10 Básico de mortero cemento:cal:arena proporción 1: ¼: 3.75 (precio por m³)

7.3.2 Mano de obra

Para el análisis de la mano de obra, se consultan los tabuladores de salario base por jornada de ocho horas, establecidos por el Sindicato Único de Trabajadores de la Construcción, Acarreos, Suministros, Renta de Maquinaria y de Conductores del Estado de Chiapas. Dicho tabulador, brinda parámetros de los salarios por jornada de los trabajadores de la construcción de cada municipio del estado de Chiapas, para el caso en estudio se obtuvieron los salarios base de acuerdo al sindicato de Tapachula de Córdova y Ordoñez, Chiapas.

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	FSR	Importe
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)					
	Mano de obra			Salario base		
MO-03	Ayudante	JOR	1	\$ 300.00	1.793	\$ 537.99
MO-02	Albañil	JOR	1	\$ 500.00	1.763	\$ 881.55
MO-01	Cabo de oficios	JOR	0.1	\$ 550.00	1.759	\$ 96.75
					Total	\$ 1,516.29

Tabla 7.11 Cuadrilla de trabajo 01.

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	FSR	Importe
Cuad - 02	Cuadrilla (1 ayudante)					
	Mano de obra			Salario base		
MO-03	Ayudante	JOR	1	\$ 300.00	1.746	\$ 523.89
MO-01	Cabo de oficios	JOR	0.05	\$ 550.00	1.759	\$ 48.37
					Total	\$ 572.26

Tabla 7.12 Cuadrilla de trabajo 02.

Para el cálculo del importe de las cuadrillas de trabajo que se presentan en las tablas 7.11 y 7.12, se obtiene el factor de salario real (FSR), dicho factor engloba las cuotas obrero-patronales que por la ley federal del trabajo en México, las empresas dedicadas a la industria de la construcción deben de cumplir para garantizar la seguridad social de sus trabajadores, garantizando la cobertura de riesgos de trabajo, enfermedad y maternidad, cesantía en edad avanzada y vejez, sistema de ahorro para el retiro y vivienda (Campos, 2020). A continuación, en la tabla 7.13 se observa el cálculo de los días realmente pagados contra los días realmente laborados para el año 2024, así como el cálculo del Factor de Salario Base de Cotización (FSBC).

En la tabla 7.14, se presenta el proceso de cálculo de factor de salario real, dicho factor es el que nos permite calcular el costo real que tendrá una empresa constructora por concepto del salario de sus trabajadores (Campos, 2020).

DICAL	DÍAS CALENDARIO	366.00
DIAGI	DÍAS DE AGUINALDO	18.00
PIVAC	DÍAS POR PRIMA VACACIONAL	3.00
Tp	TOTAL DE DÍAS REALMENTE PAGADOS AL AÑO	SUMA: 387.00
DIDOM	DÍAS DOMINGO	52.00
DIVAC	DÍAS DE VACACIONES	12.00
DIFEO	DÍAS FESTIVOS POR LEY	9.00
DIPEC	DÍAS PERDIDOS POR CONDICIONES DE CLIMA (LLUVIA Y OTROS)	3.00
DIPCO	DÍAS POR COSTUMBRE	3.00
DIPEN	DÍAS POR PERMISOS Y ENFERMEDAD NO PROFESIONAL	2.00
DISIN	DÍAS POR SINDICATO (CONTRATO COLECTIVO)	1.00
DINLA	DÍAS NO LABORADOS AL AÑO	SUMA: 82.00
TI	TOTAL DE DÍAS REALMENTE LABORADOS AL AÑO (DICAL)-(DINLA)	284.00
Tp / TI	DÍAS PAGADOS / DÍAS LABORADOS	1.3627
FSBC	FACTOR DE SALARIO BASE DE COTIZACIÓN (Tp) / DICAL para cálculo de IMSS	1.0574

Tabla 7.13 Cálculo de los días realmente pagados contra los días realmente laborados.

		UNIDAD DE MEDIDA Y ACTUALIZACIÓN AL 2024				108.57
CATEGORÍA		SALARIO				I. RIESGO
CLAVE	DESCRIPCIÓN	Días pagados /Días Laborados	Salario Nominal \$	Factor Salario Base de Cotización	Salario Base de Cotización SBC	DE TRABAJO
A	B	C	D	E	F	G
				(Tp)/DICAL	DxE	GxF
					PATRON	7.58875%
		(4 DECIMALES)		(4 DECIMALES)	TRABAJADOR	
		Tp / TI	Sn	FSBC	CUOTA TOTAL	7.58875%
MO-01	Cabo de oficios	1.3627	\$ 550.00	1.0574	581.5700	44.134
MO-02	Albañil	1.3627	\$ 500.00	1.0574	528.7000	40.122
MO-03	Ayudante	1.3627	\$ 300.00	1.0574	317.2200	24.073
MO-04	Peon	1.3627	\$ 280.00	1.0574	296.0720	22.468

3 veces UMA \$			325.71	25 veces UMA \$		2,714.25								
II. ENFERMEDAD Y MATERNIDAD						III	IV		V			TOTAL	PS	FSR
Cuota Fija	Excedente de tres UMA	Aplicación IMSS al excedente	Prestacion es en dinero	Gastos médicos pensionados	INVALID EZ Y VIDA	Retiro (SAR)	Cesantía en edad avanzada y vejez	Guarderías y Prestacion es sociales	INFONA VIT			Suma prestacion es	Obligación Obrero-Patronal	FSR=PS*TP/TL)+(TP/T L)
H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q			S	T	U
HxUMA	F-3UMA	Jxl	KxF	LxF	MxF	NxF	OxF	PxF	QxF			(G+H)+(J: R)	S / F	FSR
20.400%		1.1000%	0.7000%	1.0500%	1.7500%	2.00%	3.1500%	1.00%	5.00%					
		0.4000%	0.2500%	0.3750%	0.6250%		1.1250%						(4 DECIMALES)	(4 DECIMALES)
20.4000%		1.5000%	0.9500%	1.4250%	2.3750%	2.0000%	4.2750%	1.00%	5.00%			SP	SP/SBC	
22.1483	255.8600	3.8379	5.5249	8.2874	13.8123	11.6314	24.8621	5.8157	29.0785			169.1324	0.2908	1.7590
22.1483	202.9900	3.0449	5.0227	7.5340	12.5566	10.5740	22.6019	5.2870	26.4350			155.3260	0.2938	1.7631
22.1483			3.0136	4.5204	7.5340	6.3444	13.5612	3.1722	15.8610			100.2280	0.3160	1.7933
22.1483			2.8127	4.2190	7.0317	5.9214	12.6571	2.9607	14.8036			95.0227	0.3209	1.8000

Tabla 7.14 Tabla de cálculo del Factor de Salario Real (FSR)

7.3.3 Costo horario

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que se deriva del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo a lo estipulado en las normas de calidad y especificaciones generales y particulares que determine la dependencia o entidad y conforme al programa de ejecución convenido. (RLOPySRM, 2010)

A continuación, en las tablas 7.15 y 7.16 se presenta el análisis de costo horario de un volteo de capacidad de 7 m³, el cual es requerido para llevar a cabo los trabajos de rehabilitación de la vivienda en estudio, para cumplir con el acarreo de material producto de las demoliciones de aplanados.

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO: HORA-MAQUINA								
DATOS GENERALES								
Código:	VOLT-0231	Precio c/IVA:	\$950,000.00	Factor de mantenimiento:	90%	Vida económica Llantas:	18	Meses
Maquina:	VOLTEO KENWORTH	Precio de las llantas c/IVA:	\$45,000.00	Factor de efectividad:	80%	Vida económica de la maquina:	10	Años
Modelo:	V-012	Precio del Lt Diesel c/IVA:	\$23.54	Factor de operación:	90%	Capacidad del Carter:	60	Litros
Capacidad:	7 M3	Precio del aceite c/IVA:	\$125.00					

Tabla 7.15 Descripción de la maquinaria para análisis de costo horario.

PRECIO DE ADQUISICION:	\$818,965.52	VIDA ECONOMICA EN AÑOS:		10	Años
PRECIO JUEGO LLANTAS (Pn):	\$38,793.10	HORAS POR AÑO (Hea):		2400	HRS.
EQUIPO ADICIONAL:		VIDA ECONOMICA (Ve):		24000	HRS.
VIDA ECONOMICA DE LLANTAS(Vn): (HORAS)	3600	POTENCIA NOMINAL HP		15	HP
PRECIO PZAS ESPECIALES. (Pe):	\$0.00	COSTO COMBUSTIBLE(Pc): gasolina		\$ 20.29	
VIDA ECONOMICA PZAS ESPEC.(Va): (HORAS)	\$0.00				
VALOR DE LA MAQUINA (Vm):	\$780,172.41	COSTO LUBRICANTE(Pa): ACEITE		\$107.76	
VALOR DE RESCATE (Vr):	15%	FACTOR DE OPERACION (Fo):		90%	
TASA DE INTERES (i): TIIE A 28 DIAS	11.2450%	POTENCIA DE OPERACION (Po):		13.5	HP
PRIMA DE SEGUROS (s):	3%	FACTOR DE MANTENIMIENTO (Ko):		90%	
SALARIO REAL DEL OPERADOR(Sr):	\$1,053.36	COEFICIENTE COMBUSTIBLE(Fc):		0.1108	
SALARIO POR OPERACION(So):	\$164.59	COEFICIENTE LUBRICANTE(Fa):		0.0076	
HORAS EFECTIVAS DE TRABAJO POR TURNO (Ht):	6.4	CAPACIDAD DEL CARTER (CC):		60	lts
TIEMPO ENTRE CAMBIO DE LUBRICANTE(Ca):	60				
Valor de Rescate Vr=	\$117,025.86		ACTIVA		
CARGOS FIJOS					
a).- DEPRECIACION.....D = (Vm-Vr)/Ve =			\$27.6311	Por hora	
b).- INVERSION.....Im = (Vm+Vr)* i / (2Hea)=			\$21.0187		
c).- SEGUROS.....Sm = (Vm+Vr) * S/2Hea =			\$5.6070		
d).- MANTENIMIENTO....M = Ko * D =			\$24.8680		
SUMA CARGOS FIJOS			\$79.1248		
CONSUMOS					
a).- COMBUSTIBLE..... Co = Fc * Po * Pc =	Gasolina		\$30.3544		
b).- OTRAS FUENTES DE ENERGIA:					
c).- LUBRICANTE:.....Lb = [(Fa * Po) + CC/Ca] * Pa =			\$118.8147		
d).- LLANTAS:.....N = Pn/Vn =			\$10.7759		
e).- PIEZAS ESPECIALES:.....Ae = Pe/Va =					
SUMA DE CONSUMOS:			\$159.9450		
OPERACION					
OPERADOR DE EQUIPO MENOR JOR	So = Sr / (Ht) =		\$164.5875		
OPERACION					
SUMA DE OPERACION POR HORA			\$164.5875		
COSTO DIRECTO HORA-MAQUINA			\$403.6570		

Tabla 7.16 Análisis de costo horario.

7.4 Factor de sobrecosto

El factor de sobrecosto se define como: “El factor por el cual deberá multiplicarse el costo directo para obtener el costo de venta” (Baldovinos, 2013). Dicho factor está integrado por el análisis de costos indirectos, financiamiento, utilidad y si fuere el caso cargos adicionales.

El cálculo de los costos indirectos de administración central, costos indirectos de obra, el cálculo de las necesidades de financiamiento y el cargo por utilidad, se asigna según el criterio del contratista y sus propias consideraciones (Baldovinos, 2013).

Por lo antes mencionado, para el análisis de las matrices de precios unitarios, se han propuesto valores de porcentajes usualmente usados en la industria de la construcción en obras de casa habitación, siendo un 14% por cargos indirectos, un 2% por el cargo de financiamiento y un 10% por el cargo de utilidad.

7.5 Matrices de precios unitarios

El análisis de precios unitarios se lleva a cabo por medio de matrices de precios unitarios, dentro de las cuales se determinan los costos directos, como son: materiales, mano de obra, maquinaria o equipo. También se especifica el factor de sobrecostos, el cual está compuesto por: los costos indirectos, los costos de financiamiento y los cargos por utilidad. En las tablas 7.17 a la 7.23, se observan las matrices de precios unitarios, compuestas tanto por los costos directos, así como los factores de sobrecostos, de cada uno de los conceptos de obra que integran el proyecto de rehabilitación de la casa habitación, descrito en el capítulo 6 de esta investigación.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CÁLCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
DESM-01	Desmontaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.					PZA
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Andamio-caballote	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m	uso	\$73.87	*	0.033	\$2.46
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$2.46
MANO DE OBRA						
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	jor	\$1,516.29	*	0.067	\$101.09
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$101.09
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$101.09	*	3%	\$3.03
EQseg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$101.09	*	2%	\$2.02
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$5.05
					COSTO DIRECTO	\$108.60
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$123.81
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$126.28
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$138.91

Tabla 7.17 Matriz de precio unitario de desmontaje de puertas y ventanas.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
DEM-01	Demolición a mano de aplanados de mezcla de 2.5 cms de espesor hasta 3.50 mts de altura. Incluye: material, mano de obra, herramienta, acarreos a 1ra. estación, apile de material.					M²
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Andamio-caballote	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m.	uso	\$73.87	*	0.029	\$2.11
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$2.11
MANO DE OBRA						
Cuad - 02	Cuadrilla (1 ayudante)	jor	\$572.26	*	0.0286	\$16.35
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$16.35
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$16.35	*	3%	\$0.49
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$16.35	*	2%	\$0.33
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$0.82
					COSTO DIRECTO	\$19.28
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$21.98
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$22.42
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$24.66

Tabla 7.18 Matriz de precio unitario del concepto de demolición de aplanados existentes.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
ACA-01	Acarreo de material producto de la demolición, carga manual hasta 1km de distancia. Incluye: Mano de obra, herramienta, equipo de seguridad y todo lo necesario para su correcta ejecución.					M3
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
	MATERIALES					
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$0.00
	MANO DE OBRA					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	jor	\$1,516.29	*	0.125	\$189.54
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$189.54
	MAQUINARIA Y EQUIPO					
VOLT-0231	VOLTEO KENWORTH	HORA	\$ 403.66	*	0.17	\$67.28
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$67.28
	HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD					
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$189.54	*	3%	\$5.69
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$189.54	*	2%	\$3.79
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$9.48
					COSTO DIRECTO	\$266.29
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$303.57
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$309.64
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$340.60

Tabla 7.19 Matriz de precio unitario del concepto de acarreo de material producto de la demolición.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
APLA-MALLA66	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/6-6. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.					M2
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Mortero 1:1/4:3.75	Mortero Cemento- Cal- Arena 1: 1/4 : 3.75	M3	\$2,272.60	*	0.028	\$62.50
Ag- Pipa	Agua en pipa	M³	\$ 100.00	*	0.003	\$0.30
Andamio-caballote	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m	Uso	\$ 73.87	*	0.050	\$3.69
Malla 66/6-6	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 6-6	M²	\$ 39.75	*	1.300	\$51.68
Clavo-2.5	Clavo de 2 1/2" (63 mm) con cabeza, calibre 11.	Kg	\$ 36.00	*	0.250	\$9.00
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$127.16
MANO DE OBRA						
Elaboración y colocación de aplanado						
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.1000	\$151.63
	Suministro y colocación de refuerzo de acero.					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.03	\$37.91
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$189.54
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$189.54	*	3%	\$5.69
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$189.54	*	2%	\$3.79
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$9.48
					COSTO DIRECTO	\$326.18
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$371.84
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$379.28
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$417.21

Tabla 7.20 Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/6-6.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
APLA-MALLA44	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal-arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/4-4. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.					M2
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Mortero 1:1/4:3.75	Mortero Cemento- Cal- Arena 1: 1/4 : 3.75	M3	\$2,272.60	*	0.028	\$62.50
Ag- Pipa	Agua en pipa	M³	\$ 100.00	*	0.003	\$0.30
Andamio-cabalete	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m	Uso	\$ 73.87	*	0.050	\$3.69
Malla 66/4-4	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 4-4	M²	\$ 55.23	*	1.300	\$71.80
Clavo-2.5	Clavo de 2 1/2" (63 mm) con cabeza, calibre 11.	Kg	\$ 36.00	*	0.250	\$9.00
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$147.29
MANO DE OBRA						
	Elaboración y colocación de aplanado					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.1000	\$151.63
	Suministro y colocación de refuerzo de acero.					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.03	\$37.91
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$189.54
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$189.54	*	3%	\$5.69
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$189.54	*	2%	\$3.79
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$9.48
					COSTO DIRECTO	\$346.30
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$394.78
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$402.68
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$442.95

Tabla 7.21 Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/4-4.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
APLA-MALLA22	Aplanado común con llana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento-cal-arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/2-2. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.					M2
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Mortero 1:1/4:3.75	Mortero Cemento- Cal- Arena 1: 1/4 : 3.75	M3	\$2,272.60	*	0.028	\$62.50
Ag- Pipa	Agua en pipa	M³	\$ 100.00	*	0.003	\$0.30
Andamio-caballote	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m	Uso	\$ 73.87	*	0.050	\$3.69
Malla 66/2-2	Malla electrosoldada de 6"x6"/ 2-2	M²	\$ 72.20	*	1.300	\$93.86
Clavo-2.5	Clavo de 2 1/2" (63 mm) con cabeza, calibre 11.	Kg	\$ 36.00	*	0.250	\$9.00
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$169.35
MANO DE OBRA						
	Elaboración y colocación de aplanado					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.1000	\$151.63
	Suministro y colocación de refuerzo de acero.					
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	JOR	\$1,516.29	*	0.03	\$37.91
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$189.54
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$189.54	*	3%	\$5.69
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$189.54	*	2%	\$3.79
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$9.48
					COSTO DIRECTO	\$368.36
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$419.93
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$428.33
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$471.16

Tabla 7.22 Matriz de precio unitario del concepto de aplanado de muros, con refuerzo de malla 6x6"/2-2.

MATRIZ DE PRECIO UNITARIO						
CALCULO, ANALISIS E INTEGRACION DEL PRECIO UNITARIO						
CLAVE	DESCRIPCION					UNIDAD
MONT-01	Montaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.					PZA
CLAVE	DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO		CANTIDAD	IMPORTE
MATERIALES						
Andamio - caballete	Andamios de caballetes construido con madera de pino de 3a. para alturas de 1.50 a 3.00 m	uso	\$73.87	*	0.033	\$2.46
					SUBTOTAL DE MATERIALES	\$2.46
MANO DE OBRA						
Cuad - 01	Cuadrilla (1 Of. De albañil + ayudante)	jor	\$1,516.29	*	0.083	\$126.36
					SUBTOTAL DE MANO DE OBRA	\$126.36
MAQUINARIA Y EQUIPO						
					SUBTOTAL DE MAQUINARIA Y EQUIPO	\$0.00
HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD						
Hmenor	% HERRAMIENTA MENOR	%MO	\$126.36	*	3%	\$3.79
EQ seg	% EQUIPO DE SEGURIDAD	%MO	\$126.36	*	2%	\$2.53
					SUBTOTAL DE HERRAMIENTA DE MANO Y EQUIPO DE SEGURIDAD	\$6.32
					COSTO DIRECTO	\$135.14
					%INDIRECTOS	14%
					SUBTOTAL 1	\$154.06
					% FINANCIAMIENTO	2%
					SUBTOTAL 2	\$157.14
					% UTILIDAD	10%
					PRECIO UNITARIO	\$172.85

Tabla 7.23 Matriz de precio unitario del concepto de montaje de puertas y ventanas.

7.6 Presupuesto de la rehabilitación

En la tabla 7.24 se presenta el presupuesto de obra del proyecto integral de rehabilitación el cual consta de desmontaje y montaje de ventanas y puertas existentes, demolición de aplanados con su respectivo acarreo, encamisado de muros con malla electrosoldada de distintos calibres (6"x6"/ 6-6, 6"x6"/4-4, 6x6"/2-2) y recubierto de mortero.

PRESUPUESTO					
CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
DESM-01	Desmontaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PZA	15	\$ 138.91	\$ 2,083.66
DEM-01	Demolición a mano de aplanados de mezcla de 2.5 cms de espesor hasta 3.50 mts de altura. Incluye: material, mano de obra, herramienta, acarreo a 1ra. estación, apile de material.	M²	210.924	\$ 24.66	\$ 5,201.07
ACA-01	Acarreo de material producto de la demolición, carga manual hasta 1km de distancia. Incluye: Mano de obra, herramienta, equipo de seguridad y todo lo necesario para su correcta ejecución.	M³	8.226	\$ 340.60	\$ 2,801.82
APLA-MALLA66	Aplanado común con lana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/6-6. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	M²	187.461	\$ 417.21	\$ 78,209.99
APLA-MALLA44	Aplanado común con lana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/4-4. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.	M²	15.471	\$ 442.95	\$ 6,852.83
APLA-MALLA22	Aplanado común con lana metálica en muros interiores y exteriores, con mortero cemento- cal- arena	M²	7.992	\$ 471.16	\$ 3,765.55

	proporción 1:1/4:3.75, con refuerzo de malla electrosoldada 6"x6"/2-2. Incluye: Materiales, mano de obra, perfilado, emboquillado, acarreo y desperdicios.				
MONT-01	Montaje de puertas y ventanas en primer y segundo nivel. Incluye: mano de obra, herramienta, acarreo a primera estación hasta a 8 m de distancia.	PZA	15	\$ 172.85	\$ 2,592.77
				IMPORTE TOTAL	\$ 101,507.69
				IVA	16%
				PRESUPUESTO CON IVA	\$ 117,748.92

Tabla 7.24 Presupuesto de proyecto de rehabilitación.

Finalmente, se observa que el presupuesto de rehabilitación de la casa habitación en estudio es de **\$117,748.92**, el cual incluye los elementos a costo directo como son: materiales, mano de obra, maquinaria y equipo vigentes al año 2024, así como los elementos del factor de sobre costo como son: costos indirectos, financiamiento y utilidad. Con lo antes mencionado, se garantiza que el presupuesto brindado, cumple con los criterios establecidos por ley, al igual que cumple con los criterios vigentes en materia de construcción en casa habitación, por lo cual es un presupuesto apegado a la realidad.

Se puede concluir que el costo del proyecto de rehabilitación, es un costo accesible y factible, considerando el beneficio de aumentar la resistencia de la estructura de vivienda ante eventos sísmicos y garantizando así una seguridad estructural para sus habitantes.

CAPÍTULO 8.

CONCLUSIONES

La república mexicana, cuenta en toda su extensión territorial con áreas de baja hasta muy alta sismicidad, lo cual exige altas demandas en la parte de investigación del comportamiento de las estructuras antes eventos sísmicos, así como una supervisión precisa en calidad de los materiales empleados, ejecución de los procesos constructivos y una constante actualización por parte del personal técnico que se dedica a la industria de la construcción.

No obstante, ante la gran extensión territorial del país, malas prácticas constructivas, mala calidad de los materiales, falta de conocimiento, o la cultura de la autoconstrucción, muchas de las estructuras de vivienda en nuestro país tienen cierto nivel de daño ocasionado por eventos sísmicos y lo más grave es que algunas de estas estructuras presentan daños severos y siguen siendo habitadas, poniendo en riesgo la vida de sus habitantes. Asimismo, existe un inventario alto de viviendas que, por su configuración, no cuentan con una resistencia lateral adecuada y requieren intervención para garantizar su seguridad estructural.

En los últimos años, la investigación sobre las técnicas de reparación y refuerzos de las estructuras de mampostería, ha tenido gran aceptación en México. Esto debido al gran número de estructuras con necesidad de ser rehabilitadas, ya que han sufrido daños ante el efecto destructivo de los sismos. No obstante, a pesar de la evidencia experimental y el amplio uso que han tenido en la práctica profesional, en Chiapas, por ejemplo, son pocas las estructuras que se intervienen.

En el presente estudio se analizó una vivienda estructurada con base en muros de mampostería confinada ubicada en la ciudad de Tapachula, Chiapas. Dicha vivienda, está ubicada en una zona de muy alta sismicidad, al realizar los análisis sísmicos correspondientes se encontró insuficiencias en la resistencia a fuerzas laterales en todos sus muros.

Como propuesta de rehabilitación se estableció el encamisado de muros con malla electrosoldada de diferentes calibres, como son la 6"x6"/6-6, malla 6"x6"/4-4 y malla 6x6"/2-2, dicho refuerzo recubierto con un mortero cemento-cal-arena en proporción 1: ¼ : 3.75, de 2.5 cm de espesor.

Basados en la normatividad vigente, se revisó el comportamiento de los muros post-rehabilitación, con lo que se observó que los muros aumentaron su resistencia a fuerza cortante a tal grado que cumplen con las actuales demandas sísmicas especificadas en la normativa de referencia, por lo que se consideró una estrategia técnicamente viable para su empleo.

Posterior a la revisión el comportamiento de la estructura rehabilitada, se realizó el análisis económico para poder determinar el presupuesto del proyecto de rehabilitación de la vivienda, con lo que se encontró un precio final de **\$117,748.92**.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público de la mano con la Sociedad Hipotecaria Federal (SHCP & SHF, 2024), mencionan que para 2023, las operaciones de crédito para la vivienda a nivel nacional fueron las siguientes:

Del 0 al 25 % de los créditos para la vivienda fueron por menos de los 648 mil pesos.

Del 25 al 50% de los créditos para la vivienda fueron por menos de los 951 mil pesos.

Del 50 al 75% de los créditos para la vivienda fueron por más de los 951 mil pesos.

Del 75 al 100% de los créditos para la vivienda fueron por más de 1 millón 839 mil pesos.

Teniendo un costo promedio por vivienda para el 2023, de 951 mil pesos. Así también la SHCP, informa que en Chiapas se registraron precios para la vivienda arriba en un 10.7% del precio promedio de 951 mil pesos (SHCP & SHF, 2024).

Con lo anterior, se determina un precio promedio para la vivienda en el estado de Chiapas de 1 millón 52 mil pesos.

Con una óptica similar, si se considerara la construcción de la casa habitación nueva, habría que considerar tanto el costo de construcción como el asociado a la demolición de la estructura existente. En este sentido, considerando el dato de enero 2023 de la CMIC, donde el metro cuadrado de construcción para vivienda de interés medio se indica en \$13,267.00 por m² y considerando que para enero de 2024 sufrió una inflación del 2.72%, podría considerarse para este 2024 en \$13,627.86 el m². Con base en esto, la obra nueva tendría un costo de \$1,246,949.41 y el costo de demolición estimado es de \$49,429.59, por lo que el costo total sería de \$1,296,379.00.

De lo anterior es posible concluir que el precio del proyecto de rehabilitación de la vivienda en estudio representa aproximadamente el 9.08% de la suma del costo estimado de la demolición y la construcción nueva. Esto indica que la relación costo-beneficio es viable, considerando que por el monto de inversión de la rehabilitación se brindaría la seguridad adecuada a la estructura y, por ende, a sus habitantes.

Lo anterior indica, además de la viabilidad técnica, la viabilidad económica, cubriendo dos requisitos primordiales para una propuesta de rehabilitación estructural.

Referencias y Bibliografía

- Abarca, J. (2022). *Rehabilitación de elementos estructurales de concreto mediante inyección de resinas epoxi*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- AIS. (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de viviendas de mampostería*.
- Alcocer, S. (1997). *Comportamiento Sísmico de Estructuras de Mampostería: Una revisión*.
- Alcocer, S. (2004). *VIII SNIS Rehabilitación Sísmica de Estructuras de Mampostería*.
- Baldovinos, I. (2013). *Costos indirectos en la construcción*. Universidad Autónoma de México.
- Brzev, S., & Hart, T. (2017). *Confined Masonry Network: An Overview of Guidelines and Initiatives*. www.confinedmasonry.org
- Brzev, S., & Perez, J. J. (2014, February 21). *Masonry Construction Around the World: an overview*. Indian Institute of Technology Gandhinagar.
- Campos, O. (2020). *Análisis del salario real para presupuestos de obra pública federal mexicana*.
- CENAPRED. (2022). Comportamiento experimental de muros de mampostería rehabilitadas con diferentes métodos sujetos a cargas cíclicas. *Centro Nacional de Prevención de Desastres*.
- Cruz, R., Ramírez, M., Albores, A., Rodríguez, J., García, J., & Rivero, F. (1998). Zonificación sísmica de la ciudad de Tapachula, Chiapas. *Quehacer Científico En Chiapas*, 1, 94–104.
- Gallo, G., Espino, L., & Olvera, A. (2007). *Diseño Estructural de Casas Habitación*. Mc Graw Hill.
- Godínez-Domínguez, E. A., Tena-Colunga, A., Pérez-Rocha, L. E., Archundia-Aranda, H. I., Gómez-Bernal, A., Ruiz-Torres, R. P., & Escamilla-Cruz, J. L. (2021). The September 7, 2017 Tehuantepec, Mexico, earthquake: Damage assessment in masonry structures for housing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102123>
- Gómez, B., Jean, R., Pérez, J., & Treviño, E. (2019). *Edificaciones de Mampostería* (Editorial Limusa, Ed.). Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural.

- Hidalgo, P., Lüders, C., & de la Llera, J. (1991). *Diseño y recuperación de edificios estructuras con muros*.
- INEGI. (2020). *Viviendas*. INEGI. Encuesta Nacional de Vivienda 2020. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/vivienda.aspx>
- INIFED. (2020). Rehabilitación sísmica de la infraestructura física educativa de México. *Instituto Nacional de La Infraestructura Física Educativa*, 288–289.
- Jiménez, A. (2015). *Teoría del campo de compresión aplicada a mampostería confinada con acero de refuerzo*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kimia, I. (2014). *La importancia de la fluidez en los morteros de inyección*. Kimia, Productos y Tecnología Para La Recuperación de Edificios. <https://kimiaiberica.blogspot.com/2014/09/la-importancia-de-la-fluidez-en-los.html>
- Klingner, R., Fox, G., & Harris, B. (1997). *Increasing the integrity of retrofitted URM walls using cementitious grout and spiral ties*.
- Linares, A. (2018). *Perder el hogar en el sismo, perder la vida en la burocracia*. New York Times. <https://www.nytimes.com/es/2018/09/19/espanol/mexico-sismo-reconstruccion-burocracia.html?smid=url-share>
- MDOC-15. (2015). Manual de Diseño de Obras Civiles. *Comisión Federal de Electricidad*.
- MDOC-93. (1993). Manual de Diseño de Obras Civiles. *Comisión Federal de Electricidad*.
- Mora, J., González, R., Aguirre, J., García, L., Rueda, J., Lovera, S., Gil, A., & Jiménez, A. (2011). *Microzonificación Sísmica de Tapachula de Córdoba y Ordoñez, Chiapas*.
- NTC-CADEE. (2017). Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.*
- NTC-DCEC. (2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.*
- NTC-DCM. (2020). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.*
- NTC-DCM. (2023). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.*

- NTC-DS. (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.*
- Ramírez-Quintero, D. (2022). *Técnicas de Rehabilitación de Muros de Mampostería*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- RLOPySRM, Pub. L. No. Capítulo Sexto, Diario Oficial de la Federación (2010).
- Rocamora, M. (2014, November 13). *Análisis de grieta en muro: patología y causas*. CONSTRUIDE.
- Ruiz, J., Sánchez, T., & Alcocer, S. M. (1997). *Rehabilitación de muros de mampostería confinada mediante malla de alambre y recubrimiento de mortero*.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Causas, características e impactos*. Servicio Geológico Mexicano. <http://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Causas-caracteristicas-e-impactos.html#cinturon>
- Servicio Sismológico Nacional. (2022). *Estadísticas de los sismos reportados por el SSN*. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/estadisticas/>
- SHCP, & SHF. (2024). *Índice SHF de precios de la vivienda en México, cuarto trimestre de 2023*.
- Tena, A., Cano, J., López, A., & Pérez, M. (2010). Revisión y actualización del método simplificado de análisis de estructuras de mampostería de los reglamentos de diseño sísmico de México. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 89, 1–34.
- Tena-Colunga, A. (2004, September). Enseñanzas principales durante sismos recientes. *Seminario Anual Riesgo Terremoto y Huracán*.
- Tena-Colunga, A., & Hernández-García, A. (2016). Estudio paramétrico de modelos representativos de estructuras propensas a desarrollar pisos suaves o débiles ante excitaciones sísmicas de suelo blando. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 95(53–80).
- Tena-Colunga, A., & Hernández-García, D. (2022). Analysis of medium rise buildings at México city with a soft and weak first story configuration. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 27(2).

APÉNDICE A.

COMPARATIVA DE LAS
DEMANDAS DE FUERZAS
CORTANTES EN LA
ESTRUCTURA.

MÉTODO DINÁMICO MODAL
ESPECTRAL VS MÉTODO
SIMPLIFICADO.

En la figura A.1, se muestra, para cada uno de los muros de planta baja de la vivienda en estudio, la comparación de las fuerzas cortantes obtenidas por medio del análisis dinámico modal-espectral con respecto a las fuerzas cortantes obtenidas por medio del método simplificado (MS). Este tipo de comparaciones se han realizado previamente y durante, por ejemplo, para la actualización de los factores de área efectiva (para cada uno de los muros de la planta baja de la vivienda en estudio). Se observa claramente que, en la mayoría de los muros, las fuerzas cortantes obtenidas mediante un análisis dinámico son mayores que las obtenidas mediante el MS. Se puede decir entonces que, para el caso de estudio, el diseñar el esquema de refuerzo con base en los resultados obtenidos de MS, la estructura quedaría subdiseñada para resistir las fuerzas cortantes demandadas.

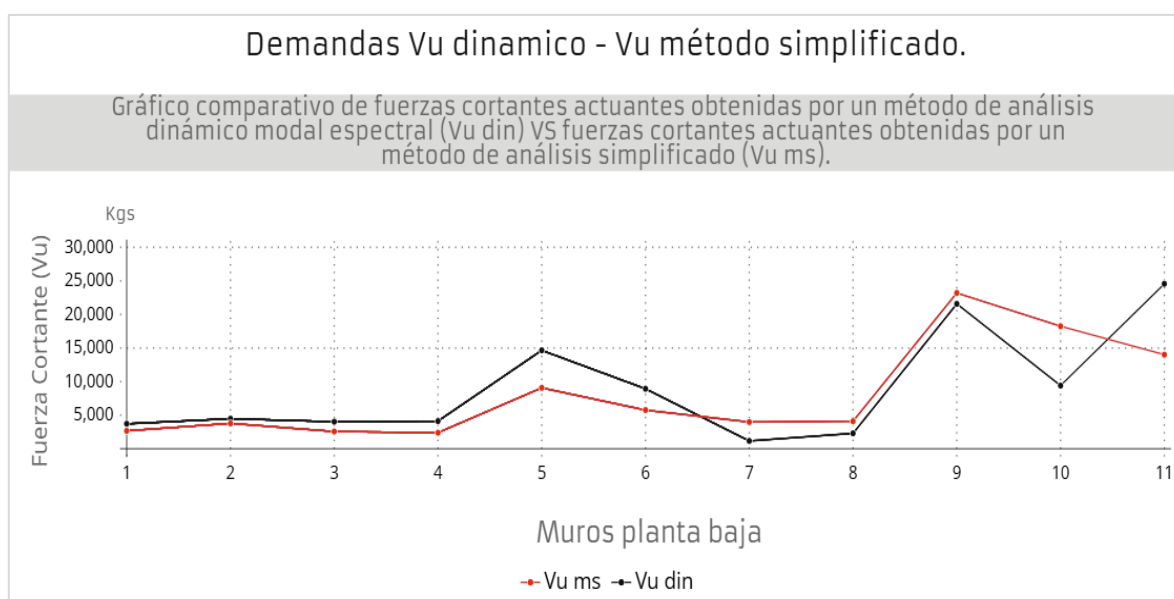


Figura A.1 Gráfico comparativo demandas por fuerzas cortantes calculadas por medio de un análisis dinámico vs cortantes calculadas por medio del MS.

En la figura A.2, se muestra el gráfico en cuyas ordenadas está representado el cociente de las fuerzas cortantes obtenidas por el método dinámico modal espectral ($V_{u \text{ Din}}$), entre las fuerzas cortantes obtenidas por el método simplificado ($V_{u \text{ MS}}$), esto para cada muro. En el eje X, se representa a cada muro de la planta baja y su relación de altura entre longitud (relación de esbeltez, H/L). En esta gráfica se observa que los muros 7, 8, 9 y 10, presentan un cociente por debajo de la unidad, esto quiere decir que las fuerzas cortantes obtenidas por método simplificado son mayores a las obtenidas por el método dinámico. Si se observa la planta de la vivienda en el capítulo 4 (figura 4.4), se puede observar que estos muros tienen continuidad con otros muros en su eje perpendicular, dicha rigidez en el MS es despreciada, a comparación del método dinámico modal espectral que toma en cuenta un modelo tridimensional por elementos finitos, el cual toma en cuenta la

rigidez de todos los elementos de la estructura y por ello se obtienen valores menores. Debe tenerse en cuenta que un cociente menor a la unidad indica una estimación conservadora al aplicar el MS. Sin embargo, de la figura A.2, se observa que, en la mayoría de los muros, las estimaciones de las demandas de fuerza cortante obtenidas por el método dinámico pueden ser mucho mayores a las estimadas mediante el método simplificado, en promedio mayores al 50%, lo cual evidentemente implica que las estimaciones realizadas con base en el MS serían no conservadoras. Esto indica claramente el cuidado que debe tenerse al seleccionar el método de análisis que, para el caso de estructuras pequeñas, como el estudiado en esta tesis, suele considerarse que una aproximación con un método simplificado es adecuada, pero, claramente, no siempre es aplicable.

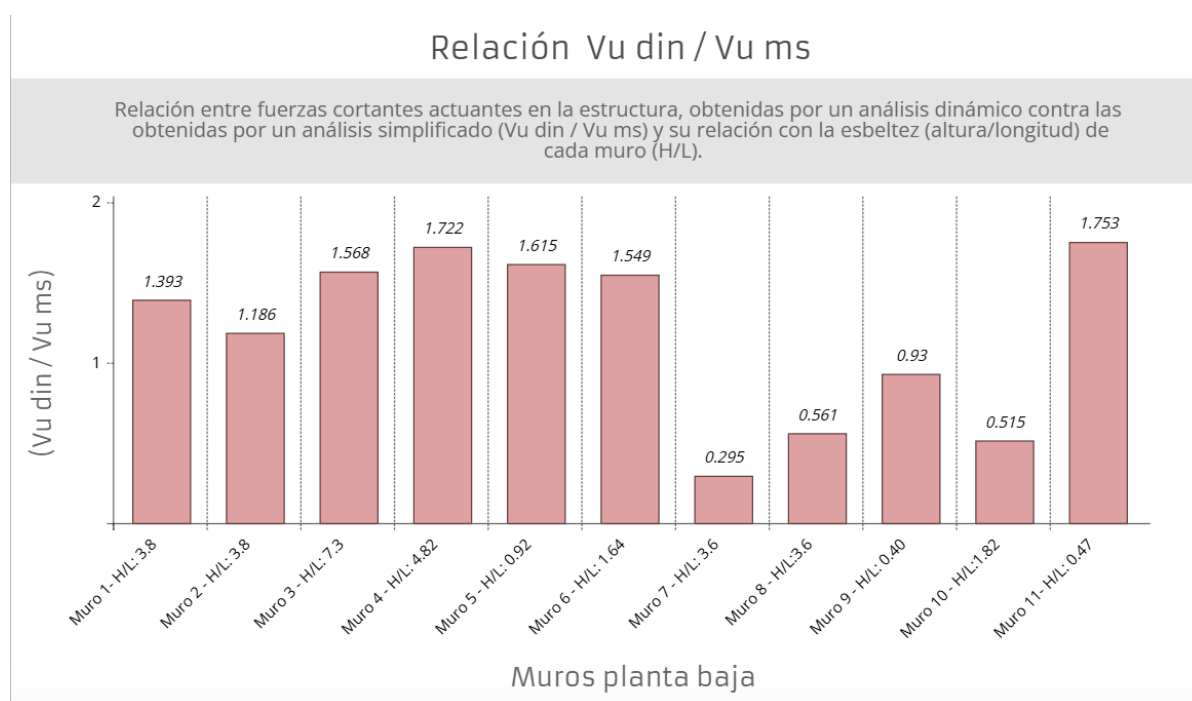


Figura A.2 Cocientes de fuerzas cortantes obtenidas por análisis dinámico y fuerzas cortantes obtenidas por el MS en cada muro.

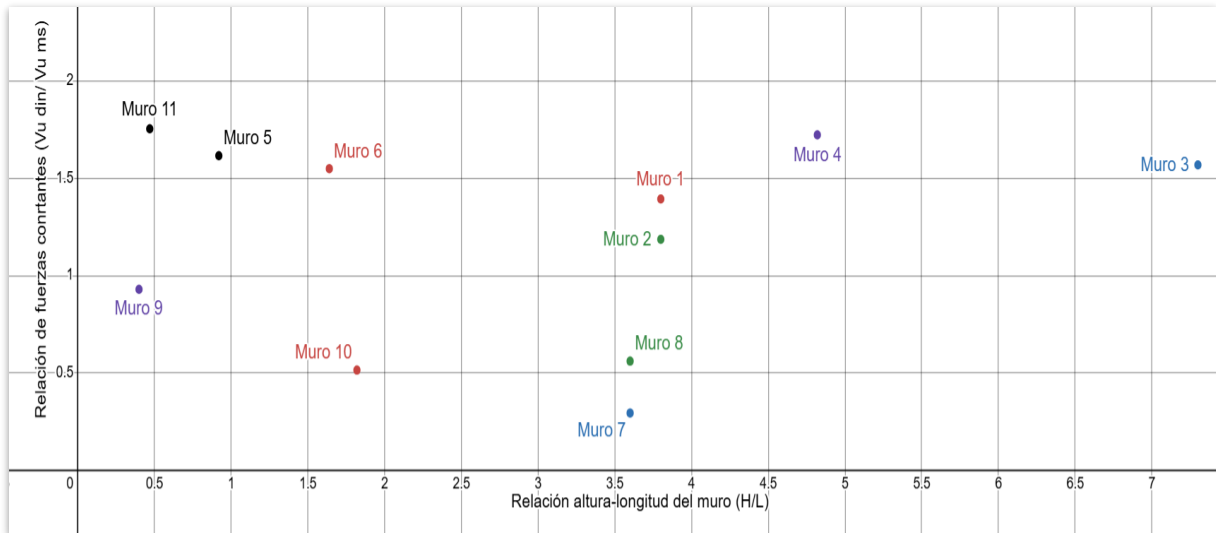


Figura A.3 Cocientes de fuerzas cortantes obtenidas por análisis dinámico y fuerzas cortantes obtenidas por el MS en función de la relación de esbeltez de cada muro.

Finalmente, en la figura A.3, se observa que, para el caso en estudio, no hay una relación directa entre la relación de esbeltez de los muros y el cociente de fuerzas cortantes obtenido. Sin embargo, existen estudios, por ejemplo: (Tena et al., 2010) que muestran la variación de la estimación de este cociente en términos de las relaciones de esbeltez de los muros y de la distribución de los mismos.

Por lo anterior, se recomienda respetar estricta y rigurosamente cada uno de los requisitos para la aplicación del método simplificado (o conocer las limitaciones de cualquier método empleado) y, en caso de no cumplir con cualquiera de estos requisitos, aplicar un método riguroso adecuado al caso en estudio, y así obtener datos confiables y evitar realizar diseños estructurales deficientes e inseguros.